

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ – HYDROLOGIE
NR. 22

Herausgegeben von der Schweizerischen Geotechnischen Kommission
und der Hydrologischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

VALENTIN BINGGELI

HYDROLOGISCHE STUDIEN
IM ZENTRALEN SCHWEIZERISCHEN ALPENVORLAND,
INSBESONDERE IM GEBIET DER LANGETE

Über Wasserhaushalt und Flusserosion sowie Schutz und Entwicklung der Gewässer
im Rahmen des Kulturlandschaftswandels

Mit 37 Tabellen, 114 Figuren und 41 Fotos

Kommissionsverlag: Geographischer Verlag Kümmerly & Frey, Bern, 1974
Druck: Schaer Thun, Offset – Buchdruck – Rotationsdruck

Vorwort der Hydrologischen Kommission und der Schweizerischen Geotechnischen Kommission

Vom Autor der vorliegenden Arbeit ist im Jahre 1961 als Nr. 12 dieser Reihe die Dissertation «Zur Morphologie und Hydrologie der Valle del Lucomagno» erschienen. Herr Valentin Binggeli hat nach dem Abschluss des Studiums seine Untersuchungen über den Wasserhaushalt neben seiner beruflichen Tätigkeit in seiner Heimat weitergeführt.

Die Hydrologische und die Schweizerische Geotechnische Kommission freuen sich, die in langjähriger Arbeit gewonnenen Ergebnisse unter dem Titel «Hydrologische Studien im zentralen schweizerischen Alpenvorland, insbesondere im Gebiet der Langete» als Nr. 22 in die Reihe «Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie» aufnehmen zu können.

Die Publikation trägt den Untertitel «Über Wasserhaushalt und Flusserosion sowie Schutz und Entwicklung der Gewässer im Rahmen des Kulturlandschaftswandels». Diese Titel weisen darauf hin, dass der Autor die monographische Darstellung der hydrologischen Verhältnisse des Langetengebietes mit denjenigen des zentralen Alpenvorlandes vergleicht und zudem den Einfluss der Menschen einbezieht.

Der «Stiftung zur Förderung wissenschaftlich-heimatkundlicher Forschung über Dorf und Gemeinde Langenthal» danken wir dafür, dass sie einen grossen Teil der Druckkosten übernommen und der Publikation in unserer Reihe zugestimmt hat.

Für den Inhalt von Text, Figuren und Tabellen ist der Verfasser allein verantwortlich.

Zürich, den 30. Juni 1974

Für die Schweizerische
Geotechnische Kommission

Der Präsident:
Prof. Dr. F. de Quervain

Für die Hydrologische
Kommission

Der Präsident:
Prof. Dr. M. de Quervain

Vorwort der Forschungsstiftung Langenthal

Die vorliegenden «Hydrologischen Studien im zentralen schweizerischen Alpenvorland, insbesondere im Gebiet der Langete» haben Beobachtungen und Messungen im Felde zur Grundlage, welche während der Zeitspanne von über 10 Jahren durchgeführt wurden. Die Arbeit mit wissenschaftlicher Zielsetzung liefert zahlreiche, praktisch verwendbare Angaben, insbesondere für Hochwasser- und Grundwasserprognosen, Wasserversorgung und Gewässerschutz.

Wir haben Dank abzustatten: vorab dem Verfasser, Herrn Dr. Val. Binggeli und seinen Mitarbeitern, der Hydrologischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft und der Schweizerischen Geotechnischen Gesellschaft, welche mithalfen, das Werk zu veröffentlichen, und es in ihre namhafte Reihe aufnahmen. Bei dieser Gelegenheit möchten wir einmal mehr unseres Herrn J. R. Meyer gedenken, welcher seinerzeit die Errichtung der Stiftung anregte und weitgehend auch die vorliegende Arbeit.

Langenthal, im Juli 1974

Der Präsident des Stiftungsrates:
F. Lyrenmann

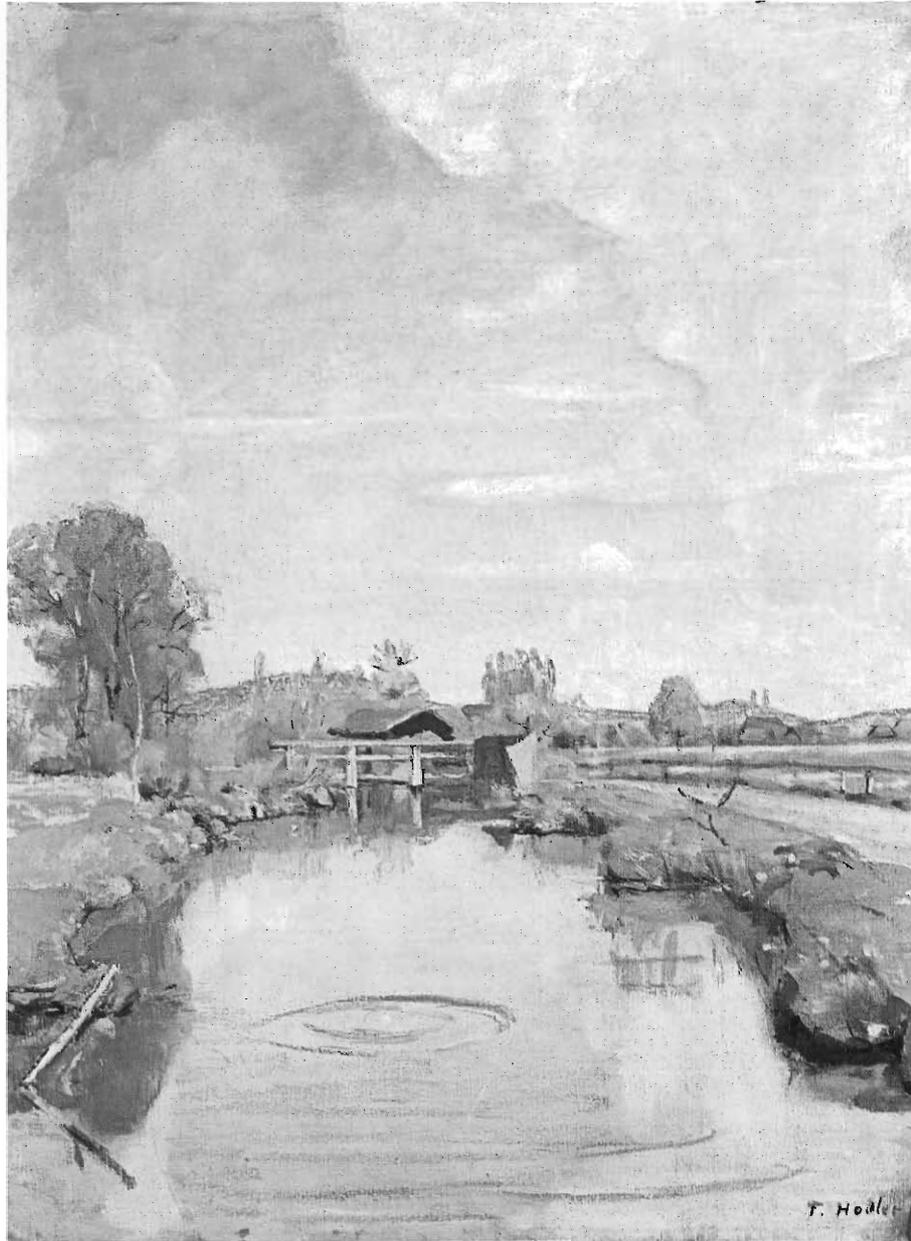
«Wir sehen wohl mit Recht in unserm Gebirgsland einen wunderschönen und erhabenen Tempel der Natur. Es gibt wohl kein Land auf der Erde, das gerade in *gewässerkundlicher* Hinsicht einen solchen Reichtum an Naturerscheinungen aufzuweisen vermag, wie unsere Schweiz.

Im weitschichtigen Arbeitskreis der Gewässerkunde bildet die *planmässige Aufstellung der Wasserbilanz von Flussgebieten das Kernstück*. Sie erfordert vor allem *vollständige Klarstellung der Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss*. Die moderne Hydrologie, die in der Erkenntnis des Gesamtcharakters der Gewässer ihr Forschungsziel sieht, sucht dasselbe auf dem Wege der Synthese zu erreichen, indem sie die Ergebnisse der nach verschiedenen Gesichtspunkten arbeitenden Einzeldisziplinen zu einem geschlossenen Gesamtbild vereinigt.

Je tiefer wir in das Wesen dieser Materie einzudringen vermögen, je mehr die Mutter Natur uns ihre Geheimnisse offenbart, desto schwieriger, aber um so reizvoller erscheint uns die Aufgabe, die einzelnen Steine des Wissens zu einem harmonischen Ganzen zusammenzufügen.» Otto Lütschg

Der vorliegende Beitrag wurde gemeinsam herausgegeben durch:

Forschungstiftung Langenthal
Schweizerische Geotechnische Kommission und
Hydrologische Kommission der SNG



Ferdinand Hodler (1853–1918): «Gestauter Bach bei Langenthal». Landschaft der Wässermatten an der Langete. Frühes Bild aus den Jahren, als der junge Maler zeitweilig in Langenthal wohnte. Reproduziert mit freundlicher Erlaubnis der Stiftung Oskar Reinhart, Winterthur.

Dank

Auch wenn an die vorliegenden Untersuchungen jahrelange Arbeit aufgewendet wurde, wären sie ohne Mithilfe und Mitraten anderer kaum möglich gewesen. Dies sowohl mit Bezug auf die Grundlagenbeschaffung im Felde, wie die Diskussion der Ergebnisse.

So habe ich viel und vielerseits zu danken, vorab meiner Frau für die unschätzbare stete Unterstützung, bei den Schreibarbeiten, draussen in der Landschaft und drinnen im wohnlichen Zuhause. Eingeschlossen in den Dank seien auch die Kinder, besonders Bettina und Simon, die bei Kartierungen und Reinzeichnung bereits mitwirken konnten.

Anschaffungen, insbesondere von Apparaten, wie grossteils auch der Druck dieser Schrift, wurden in verdienstvoller Weise ermöglicht durch die Forschungsstiftung Langenthal (Stiftungspräsident: *Hans Ischi*, Präsident des Stiftungsrates: *Fritz Lyrenmann*). – *J. R. Meyer*, der verehrte väterliche Freund, der den gedanklichen Grundstein zu dieser Stiftung legte, hat auch die vorliegende Arbeit durch wesentliche Anregungen gefördert. Dasselbe gilt für *Sigmund Bitterli*, der zudem mit *Karl Stettler* die grosse Arbeit der Lektüre übernahm.

Für die Aufnahme der Arbeit in die Reihe «Hydrologie» bin ich den beiden Kommissionen sehr verpflichtet, insbesondere den Herren Prof. Dr. *M. de Quervain*, und Prof. Ing. *P. Kasser* von der Hydrologischen Kommission der SNG für eingehende fachliche Beratung und Diskussion.

Als Mitarbeiter des Geogr. Instituts der Universität Bern (Direktor: Prof. Dr. *F. Gygax*) fand ich dort stets Zugang zu Hilfsmitteln und zu förderndem Gespräch. In entscheidender Weise stand mir Dr. *Chr. Leibundgut*, Assistent des Instituts, jahrelang als freundschaftlicher und fachlicher Mitarbeiter zur Seite. – Dann haben wir hier auch zu gedenken des leider früh verstorbenen *Peter Sommer*.

Mancherlei Rat, Anregung und Material verdankt der Verfasser ferner den folgenden Stellen und Persönlichkeiten:

Abteilung für Hydrologie und Glaziologie, VAW, ETH, Zürich – Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern (A+W) – Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt, Zürich (MZA) – Schweiz. Anstalt für das forstl. Versuchswesen, Birmensdorf/Zürich – Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kts. Bern (WEA) – Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde, München – Hydrolog. Zentralbüro von Österreich, Wien – Ufficio idrografico del Po, Parma – Société Hydrotechnique de France, Paris – Elektrizitätswerk Wynau – Regionalplanungsverband Oberaargau, Langenthal – Fa. Gugelmann + Cie., Langenthal – Prof. Dr. D. Barsch, Kiel – W. Bernhard, Langenthal – F. Bieri, Oeschberg – Dr. R. Blau, WEA, Bern – Prof. Dr. J. Cadisch, Bern – Prof. Dr. E. Egli, Zürich – Lydia Eymann†, Langenthal – Prof. Dr. K. H. Flatt, Solothurn – H. Frautschi, Turbach – Prof. Dr. H. Graul, Heidelberg – Prof. Dr. H. Gutersonn, Zürich – Prof. Dr. F. Habe, Postojna, Jugoslawien – Dr. P. Habic, Postojna, Jugoslawien – Prof. Dr. Th. Hügi, Bern – Prof. Dr. h. c. Ed. Imhof, Zürich – Prof. Dr. F. Kahler, Graz/Klagenfurt – P. Käser, Langenthal – Dr. H. M. Keller, Birmensdorf/Zürich – Prof. Dr. R. Keller, Freiburg i. B. – J. E. Kesseli, Kensington, USA – P. Kohler, A+W, Bern – Prof. Dr. Dr. h. c. W. Kresser, Wien – Dr. H. Leist, Wynau/Bern – Dr. M. Niklaus, Thun – Dr. M. Oesterhaus, Bern – Prof. Dr. J. J. Parsons, Berkeley, USA – Prof. Dr. H. Sasaki, Tokyo – H. Scheidiger, Langenthal – Dr. H. J. Schmassmann, Liestal – Prof. G. Schnitter, Zürich – Ludmila Smid-Semerl, Ljubljana/Langenthal – Dr. H. U. Stauffer, Langenthal – Prof. Dr. M. Schüepp, MZA, Zürich – Th. Schwab, Niederoenz – H. Uttinger, MZA, Zürich – E. Walser, A+W, Bern – Prof. Dr. R. A. Watson, St. Louis, USA – Erika Wyman, Aarwangen – Dr. H. W. Zimmermann, Zürich

Langenthal, Sommer 1974

Der Verfasser

Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Kommissionen	5
Vorwort der Forschungsstiftung	5
Dank	6
1. Übersicht	9
1.1. Einführung	9
1.2. Die hydrologische Forschung in der Schweiz	11
1.3. Zusammenfassung	14
1.4. Summary	25
2. Konzept und Messunterlagen	27
2.1. Test- und Vergleichsgebiete des Alpenvorlandes	27
2.2. Das Testgebiet Langete	29
2.2.1. Problemstellung, Methodik, Ziele	29
2.2.2. Beobachtungen, Messungen, Stationsnetz	30
2.2.3. Topographische Situation	31
2.2.4. Geologisch-morphologische Grundzüge	32
2.2.5. Klimatisch-hydrographische Grundzüge	33
3. Niederschlag	37
3.1. Grössenordnungen; Gewichtigkeit der Stationen	37
3.2. Schneewasserwerte zur Messkorrektur	41
3.3. Herkunft der Niederschläge	43
3.4. Regionale Niederschlagsverteilung	45
3.5. Zeitliche Niederschlagsverteilung	50
3.5.1. Jahres- und Monatsniederschläge	50
3.5.2. Häufigkeit des Niederschlags	52
3.5.3. Einzelniederschläge: Ertrag, Dauer und Intensität	52
4. Abfluss	55
4.1. Jahreswerte und Dauer der Abflussmengen	55
4.1.1. Abfluss-Spenden von Alpenvorlandflüssen	56
4.1.2. Abfluss-Dauer	59
4.2. Zur Abfluss-Karte der Aare	61
4.3. Monatliche Wasserführung	62
4.3.1. Abflussregimes	63
4.4. Abfluss-Schwankungen	65
4.5. Hochwasser und Überschwemmungen	69
4.5.1. Hochwasser-Karten des Aaregebiets	72
4.5.2. Charakteristik einzelner Hochwasser	72
4.6. Wassertemperaturen	79
4.7. Fließgeschwindigkeiten	82

5. Der Wasserhaushalt	83
5.1. Relationen zwischen jährlichem Niederschlag und Abfluss	83
5.2. Relationen Niederschlag/Abfluss der Monatswerte	90
5.3. Einzelniederschläge und ihre Hochwassermengen	91
5.4. Grundwasser	95
5.4.1. Grundwasserneubildung	95
5.4.2. Grundwasser-Regionen. Überblick	95
5.4.3. Das Grundwasserbecken von Langenthal	96
5.4.4. Das Grundwasser-Quellgebiet von Roggwil	98
5.4.5. Die Grundwasserströme in Langete- und Bleienbachtal	99
5.4.6. Der Bilanzanteil des Grundwassers	100
5.5. Retentionen	101
5.6. Die Landesverdunstung	102
5.7. Die hydrologische Bilanz	105
5.7.1. Bilanz-Typen	106
6. Fluviale Mineralfracht und Erosionsgrösse	109
6.1. Geröllführung	110
6.1.1. Geröllführung einzelner Hochwasser	110
6.1.2. Geröllführung der Jahre und Monate	112
6.1.3. Erosionsquantitäten durch Geröllführung	114
6.2. Schwebstoff-Führung	116
6.3. Lösungsführung	122
6.4. Erosionsanteile von Geröll, Schweb und Lösung	127
6.5. Der fluviale Gesamtabtrag	128
7. Hydroökologie	129
7.1. Wasserangebot und Nachfrage	130
7.2. Veränderungen der Wasserbilanz	131
7.3. Trinkwasserversorgung	133
7.4. Wasserkraftnutzung	137
7.5. Kulturlandschaftswandel und Gewässerentwicklung	138
7.5.1. Ältere Entwicklungsphasen	138
7.5.2. Das Irrigationssystem an der Langete	140
7.5.3. Grundwasser-Anreicherung durch Wässermatten	146
7.5.4. Flusskorrekturen im Rahmen des Gesamtwasserhaushalts	150
7.5.5. Hochwasser-Retention und Grundwasser-Anreicherung	151
7.6. Zur hydrogeographischen Karte der Langete	153
7.7. Gewässerschutz und Landschaftsplanung: Ideen und Vorschläge	156
8. Quellen und Literatur	159
9. Anhang (Einlagen)	
9.1. Abflusskarte des Aaregebiets	
9.2. Hydrogeographische Karte der Langete	

1. Übersicht

1.1. Einführung

Als zentrales schweizerisches Alpenvorland im weiteren Sinne wird hier das Mittellandgebiet der Berner Aare zwischen Helvetischen Voralpen und Weissensteinkette betrachtet, im engeren Sinne begrenzt durch Emme und Wigger, Napf und Jura. Dieser Raum, ungefähr dem bernischen Oberaargau entsprechend, ist das spezielle Arbeitsgebiet, das Testgebiet Langete dessen Hauptteil (Fig. 8).

Die Langete wurde aus verschiedenen Gründen als Untersuchungsobjekt gewählt, lag doch für diesen einzigen mittelgrossen Fluss des zentralen Plateau-Mittellandes bereits eine lange Jahresreihe von Abflussmessungen des Eidg. Wasserwirtschaftsamtes (A+W) vor; zudem konnte gemeinsam eine 2. Mess-Station an der Langete bei Häbernbach/Huttwil errichtet werden. Damit werden bei genügend langer Messreihe die beiden Teilgebiete der subalpinen Bergregion des Napfs und des Plateau-Hügellandes vergleichend studiert werden können.

Zudem bot sich zur Bearbeitung einer Region des Alpenvorlandes – nachdem bereits recht zahlreiche Studien über alpine Gebiete vorlagen – der neuerliche Wohnraum des Verfassers an, wozu aus der Jugendzeit tiefere heimatliche Beziehung und Kenntnis mitgebracht wurden. Die Kombination von menschlicher und fachlicher Beziehung und ihre gegenseitige fördernde, bestärkende Wirkung scheint uns von grosser Bedeutung zu sein.

Schliesslich muss als entscheidend gewertet werden, dass hier ein Fluss des Alpenvorlandes zur Verfügung stand, dessen Einzugsgebiet keine erheblichen verändernden Eingriffe durch Menschenhand erfahren hat, in dem also noch ein weitgehend natürliches Wasserregime besteht. Denn unser Untersuchungsgebiet der starken anthropo-hydrogenen Wandlungen liegt ausserhalb des hydrologischen Einzugsgebiets, d. h. unterhalb der Abfluss-Station Lotzwil (Karte Abb. 9). Alle Wasserentnahmen oberhalb dieser Mess-Station (Wasserversorgungen, Kläranlagen, Industrie) werden vom A+W bei der Abflussmessung als Korrektur berücksichtigt.

Es war unser Bestreben, das Testgebiet Langete möglichst weithin in den grösseren Rahmen zu stellen, damit gleichzeitig ein vorläufiges Bild der noch keineswegs zusammenhängenden, doch recht zahlreichen hydrologischen Bilanzwerte schweizerischer Untersuchungsgebiete zu geben. Da entsprechende Vergleichswerte aus dem schweizerischen Alpenvorland selten sind, wurden auch solche aus dem alpinen Raum herangezogen. Wir verdanken sie vorab dem Geogr. Institut der Universität Bern (Prof. F. GYGAX), der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETHZ (Prof. P. KASSER) und dem Eidg. Wasserwirtschaftsamtsamt (Ing. E. WALSER).

In Übersichts-Diagrammen und -Karten sollen die weiterreichenden Zusammenhänge aufgezeigt werden, insbesondere für das Aaregebiet, aber auch für die ganze Schweiz, soweit Werte verfügbar sind. (Was darüber hinausreicht, wird bloss mit einigen Typenvergleichen dargelegt.) So wird gleichzeitig ein Überblick über die Untersuchungsgebiete und den Stand der hydrologischen Forschung in der Schweiz vermittelt. Es sei besonders verwiesen auf die tabellarische Zusammenstellung «Hydrologische Bilanzen schweizerischer Untersuchungsgebiete» in Tab. 1 und die entsprechenden Darstellungen der Abflussfunktion (40 schweizerische Untersuchungsgebiete, Fig. 61) und der Verdunstungsfunktion bezüglich der Meereshöhe (22 schweiz. Untersuchungsgebiete, Fig. 5). In der letzteren ist mit der Beziehung von LUETSCHG (1944) gleichsam ein früherer Forschungsstand aufgeführt.

Auch in diesem weitem Rahmen wurde nach Möglichkeit versucht, quantitative Resultate zu erbringen: In Regressionen ergeben sich in der Tat interessante Aspekte. Wenn wir absehen von einigen Gebieten mit Sondereigenschaften, so erhalten wir verschiedene Zusammenhänge innerhalb der Wasserhaushaltsfaktoren, denen eine weiterreichende, allgemeinere Bedeutung zukommt.

Unsere Studien, insbesondere im Testgebiet Langete, bedeuten demnach Grundlagenforschung, doch kann diese nicht l'art pour l'art bleiben, sondern führt zur Anwendung im Bereich des öffentlichen Interesses, bei Nutzung wie Gestaltung der Landschaft und ihrer Gewässer. Wasser und Mensch haben in jahrtausendlanger Wechselwirkung Bau und Bild unserer Landschaft geschaffen. Ihre Beziehungen, in unserer hektisch in die Natur eingreifenden Zeit, möchten wir mittels genauer Untersuchungen dahin ergründen, dass sie die wissenschaftlichen Ausgangspunkte zu praktischen Massnahmen im Sinne einer harmonischen Lebensgrundlage der Zukunft geben.

1.2. Die hydrologische Forschung in der Schweiz Entwicklungsphasen und Stand

Die Pionierzeit unserer Gebirgshydrologie wurde durch ENGLER und BURGER zu Anfang des jetzigen Jahrhunderts vorbildlich eingeleitet. Ihre Resultate von forsthydrologisch orientierten Wasserhaushalts-Studien im Napfbergland (Rappen- und Sperbelgraben, Wasen) sind in die wissenschaftliche Weltliteratur eingegangen und werden auch in jüngsten Publikationen stets wieder zitiert.

Dasselbe gilt für die knapp ein Vierteljahrhundert später einsetzenden Arbeiten von LUETSCHG, des Altmeisters der Gebirgshydrologie. Hier stehen wir an einem ersten Wendepunkt, indem ein eigentliches Forschungsprogramm die systematische Bilanz-Untersuchung bestimmter alpiner Flussgebiete vorsah, indessen noch von einer einzelnen Persönlichkeit begründet und geprägt.

Nach dem 2. Weltkrieg kam es im Gefolge der bevölkerungsmässigen und wirtschaftlichen Expansion zu einer neuerlichen Wende: Nun standen Anfragen und Forderungen öffentlicher wie privater Nutzungsinteressen (und solche des Schutzes!) voran, wobei sich die Lage mehr und mehr zuspitzte und nach weltweiten Grundlagen und Lösungsideen verlangte.

Dies rief nach der Jahrhundertmitte einer Reihe von Detail- wie grossräumigen Untersuchungsprogrammen lokalen bis internationalen Charakters, die von Stand und Differenzierung der Forschung her die Teamarbeit und Koordination voraussetzte und neben universitären besonders auch amtliche Stellen einbezog. Erwähnen wir in unserem Rahmen die Programme des Geogr. Instituts der Universität Bern, der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETHZ, dasjenige des Kantons Bern (Wasserwirtschaftsamt), des Eidg. Wasserwirtschaftsamtes und schliesslich dasjenige des Internationalen Hydrologischen Dezenniums.

Die Gebiete, wofür wir in der Schweiz gegenwärtig aus mehr oder minder detaillierten Grundlagenuntersuchungen Bilanzwerte des Wasserhaushalts vorlegen können, sind aus Tab. 1 ersichtlich. Diese spiegelt sozusagen rasterhaft den heutigen hydrologischen Forschungsstand in unserem Lande.

Aktualität und Dringlichkeit der Gewässerforschung mag durch ein Zitat von M. CHARTIER beleuchtet sein, der kürzlich in der «American Geographical Society» festhielt: «On considère que le boom de l'uranium, l'hystérie du pétrole et le ruées vers l'or semblent être éclipsés par la recherche frénétique actuelle de cette ressource indispensable qu'est l'eau.»

Ohne in apokalyptischen Visionen zu machen, muss aufgrund eindeutiger quantitativer Erhebungen immerhin festgehalten werden, dass bei uns im Wassersektor ein kritischer Punkt erreicht ist, was die Gegenseitigkeit von Angebot und Nachfrage betrifft.

Mehr und mehr wurde in den letzten Jahren – zumal in den dichtbevölkerten Industriegebieten – der quantitative neben und über den qualitativen Gewässerschutz gestellt. Was helfen Kläranlagen, wenn Oberflächen- wie insbesondere auch Grundwasser derart in Rückgang begriffen sind? Hier haben Wasserhaushaltsuntersuchungen, wie die vorliegenden, die zu planerischen und behördlichen Massnahmen benötigten Grundlagen zu liefern.

Die «Wasserzeichen der Zeit» sind heute auf allen Ebenen erkannt. Eine andere Frage ist jene nach den daraus durch die entsprechenden Bevölkerungskreise und Behörden zu ziehenden Schlüsse und vorzunehmenden Massnahmen: Der Weg ist vorgezeichnet, entscheidend bleibt indessen, dass er auch begangen wird.

Für unsre Wissenschaft bedeutet die heutige Situation sowohl Förderung wie Absorbierung durch praktische, utilitaristische Belange. Doch können die beiden zumeist in sinnvolle, gegenseitig befruchtende Symbiose gebracht werden. Jedenfalls erwartet eine bedrängte Bevölkerung, die auf Resultate der Wissenschaft angewiesen ist, zu Recht, dass diese in brauchbarer Form der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt werden, dass sich der heutige Forscher öffentlich engagiert und exponiert. Er hat zudem nicht mehr nur Abklärungs-, sondern auch wesentliche Aufklärungsarbeit zu leisten. Gegenüber dem früher nicht unbeliebten Glashause bringt dies vermehrte Verpflichtung, doch auch höhere Befriedigung, fachlich wie menschlich.

Tabelle 1 Hydrologische Bilanzen schweizerischer Untersuchungsgebiete

Einzugsgebiet	F Fläche km ²	VG Verglet- scherung %	Hm mittl. Meereshöhe m	N Niederschlags- höhe cm	A Abfluss- höhe cm	AF Abfluss- faktor A/N	V Verdunstungs- höhe N-A cm	Beobachtungs- periode	Autor, Lit.verweis
1 Thur Andelfingen	1694	0.01	785	136	97	0.71	39	1904/05–13/14	Fischer-Reinau 1917
2 Glatt Niederhöri	369	0	528	114	65	58	49	1886/87–1913/14	Fischer-Reinau 1917
3 Rappengraben Riedbad/Wasen	0.59	0	1135	170	101	59	69	1927/28–51/52	Burger 1955
4 Sperbelgraben Kurzenei/Wasen	0.56	0	1060	164	78	48	86	1927/28–51/52	Burger 1955
5 Emme Eggwil	102	0	1130	151	111	74	40	1931–60	Kasser 1967
5 Emme Gerlafingen	940	0	860	130	62	48	68	1922–59	approx.
6 Langete Lotzwil	115	0	713	115	58	50	57	1959–68	Binggeli 1974
6 Langete Lotzwil (mit Grundw.)	115	0	713	115	71	61	45	1959–68	Binggeli 1974
7 Broye Sugiez	697	0	630	110	50	46	60	1920–59	approx.
8 Zihl Zihlbrück	2674	0	780	122	61	50	61	1920–55	Walser 1957
8 Bibern Kerzers	50.1	0	540	95	35	37	60	1955/56–69/70	approx.
9 Aare Brügg-Brugg	3461	–	–	117	61	52	56	1916–55	Walser 1957
10 Rhein Mittellandgeb.	17090	–	630	111	58	53	53	1921–52	Walser 1954
11 Allaine Boncourt	198	0	–	118	53	45	65	1965–68	Schweizer 1970
12 Lorze Frauenthal	259	0	690	146	86	59	60	1930–56	Walser 1958
13 Biber Ramsen	162	0	570	68	23	34	45	1931–60	Kasser 1967
20 Davos Seegebiet	9.5	0	1934	109	81	74	28	1920/21–21/22 + 31/32–33/34	Lütschg 1944
21 Vorderrhein Ilanz	776	7.8	2029	170	141	81	29	1894/95–08/09	Roder 1914
22 Glenner Ilanz	382	19.9	2012	165	123	72	42	1894/95–08/09	Roder 1914
23 Hinter-Rhein Rotenbrunnen	1663	6.1	2084	166	106	64	60	1894/95–08/09	Roder 1914
24 Rhein Felsberg	3249	3.0	2005	166	96	59	70	1894/95–08/09	Roder 1914
25 Rhein Ilanz + Rot.br.-Tardisbrücke	1439	0	1702	143	93	65	50	1894/95–08/09	Roder 1914
26 Rhein Tardisbrücke	4260	–	1938	158	109	69	49	1894/95–08/09	Roder 1914
27 Rhein Hochalpenregion	4437	–	2060	172	144	84	28	1945–52	Walser 1954
27 Rhein Rheinfeldern	34550	1.6	1085	139	94	68	45	1931–60	Kasser 1967
28 Rhein Basel	35925	1.5	1050	142	94	67	48	1901–40	Walser 1954

29	Aare Thun	2490	10.9	1760	182	141	77	41	1930–55	Walser 1957
30	Aare Brügg	8317	3.3	1150	148	93	63	55	1914–55	Walser 1957
31	Aare Brugg	11778	2.4	1010	139	83	60	56	1916–55	Walser 1957
32	Schächen Bürglen	95	4.2	1800	230	176	77	54	1930–56	Walser 1958
33	Muota Ingenbohl	316	0.05	1360	228	188	82	40	1930–56	Walser 1958
34	Engelberger Aa Büren	219	5.2	1640	198	181	91	17	1930–56	Walser 1958
35	Sarner Aa Sarnen	267	0	1280	161	117	73	44	1930–56	Walser 1958
36	Kl. Emme Malters	448	0	1070	154	99	64	55	1930–56	Walser 1958
37	Reuss Seedorf	832	11.4	2010	205	174	85	31	1930–56	Walser 1958
38	Reuss Luzern	2251	5.0	1500	182	156	86	26	1930–56	Walser 1958
39	Reuss Mühlau	2904	3.8	1380	174	142	82	32	1930–56	Walser 1958
40	Reuss Mellingen	3382	3.3	1240	169	132	78	37	1930–56	Walser 1958
41	Linth-Limmat Zürich	2176	1.5	1190	180	155	86	25	1935–60	Walser 1962
42	Massa Massaboden	202	67.6	2920	209	214	1.03	21	1931–60	Kasser 1967
43	Rhône Porte du Scex	5220	16.2	2130	135	110	82	31	1931–60	Kasser 1967
50	Magliasina Mol. d'Aranno	22	0	1055	192	148	72	44	1939–44	Gygax 1948
51	V. Piora L. Ritom	22.6	0	1831	168	137	82	31	1907–14	Ghezzi u.a. 1918
52	Brenno d. Lucomagno Campra	35	0	1907	209	174	83	35	1953/54–67/68	Binggeli 1970
52'	Brenno d. L. mit Fremdwasser	35	0	1907	209	197	95	12	1953/54–57/58	Binggeli 1961
53	Bavona Bignasco	122	6.2	1950	224	161	72	63	1947/48–52/53	Reist 1960
54	Rovana Collinasca	97	0	1895	206	179	88	27	1948/49–56/57	Hirsbrunner 1959
55	Isorno Russo	119	0	1590	194	157	76	37	1949–53	Kistler 1954
56	Brenno C. Blenio	84	–	2000	200	174	87	26	1946/47–54/55	Witschi 1957
57	Verzasca Corippo	189	0	1680	230	192	83	38	1956/57–63/64	Grütter 1967
58	Vedeggio Isonne	19.7	0	1450	224	176	79	48	1960/61–65/66	Gäumann (Jaggi 1970)
59	V. Melera (V. Morobbia)	1.05	0	1419	206	135	66	71	1934/35–53/54	Burger 1945
70	Inn Martina	1790	5.4	2350	126	96	76	30	1904–40	Walser 1967

1.3. Zusammenfassung

Es wird auf dem Boden analytischer Geographie eine vorwiegend monographische wie, soweit möglich, auch vergleichend-hydrologische Darstellung vorgelegt und zum Schluss eine hydrogeographische Synthese im Blickwinkel des Gewässerwandels innerhalb der modernen Kulturlandschafts-Entwicklung angestrebt. Erstes Ziel ist die zahlenmässige Erfassung des Wasserhaushalts eines Alpenvorland-Flussgebiets, in den Rahmen anderer Detailuntersuchungen aus Alpenvorland und Alpen gestellt. Besonderes methodisches Anliegen war eine weitgehende graphische und statistische Auswertung. Während der Arbeit gestalteten sich aus dem Ganzen, teils durch praktische Problemstellung gegeben (Gutachten), einige speziell beackerte Teilfelder: Hochwasser, Schuttführung der Flüsse (Erosionsgrösse) und Fragen des durch den Menschen veränderten Wasserhaushalts.

Das Test- und Forschungsgebiet Langete

Die Langete ist der Hauptfluss der nordwestlichen Napfabdachung zwischen Emme und Wigger und entwässert 115 km². Unser Untersuchungsgebiet liegt demnach im zentralen schweizerischen Mittelland zwischen 400 und 1100 m Meereshöhe, der Oberlauf der Langete in der subalpinen Napfnagelfluh, die tieferen Teile in Sandstein-Plateaux und den glazial-fluvioglazialen Bildungen des Endmoränenraums des würmzeitlichen Rhonegletschers; hier handelt es sich um das Kerngebiet des bernischen Oberaargaus. Dieser durch das Napfmassiv verengte Mittellandabschnitt wirkt auch klimatisch und hydrographisch als Grenzzone. Wind und Wetter drängen sich durch den «Kanal», dessen Ränder – erste Jurakette und Napfnordfuss – zwei regelmässige, gefürchtete Gewitterzonen darstellen.

Hydrographisch liegt im Oberaargau die Grenze zwischen der mehrheitlich subsequenter Flussrichtung im W (Seeland und untere Emme) und den konsequenten Verläufen im luzernisch-aargauischen Hügel-land im E. Das verengte obergauische Mittelland enthält entsprechend kürzere Flüsse, wovon sich nur die Langete ihre alten Napf-Quellwurzeln zurückerobert, die in der Eiszeit durch die grosse fluvioglaziale Rinne Sumiswald–Huttwil–Zell abgetrennt worden waren. – Eigentliche Seen fehlen, nur einige Weiher weist das Gebiet auf, dagegen aber bedeutende Grundwasservorkommen. Das Klimadiagramm Langenthals zeigt die bekannten Verläufe der atlantisch-subalpinen Mischklimazone Mitteleuropas.

Niederschlag

Aus der vorläufig 10jährigen Messreihe 1959–68 resultiert ein Gebietsmittel des Niederschlags von 115 cm/Jahr. Die Jahresniederschläge im höhern Gebietsteil schwanken stärker und bestimmen weitgehend die Schwankungen der entsprechenden Abflussmengen. – *Schneewasserwertbestimmungen* dienen zur Beurteilung der Niederschlags-Messstationen. Für den Endtermin der Periode 1959–68 wurde eine Karte der Schneehöhen zur Berechnung der Schneerücklage erstellt (Masse des Schneewasserwerts: 3.4 Mio m³).

Für ein mittelklimatisches Jahr wird die *Herkunft* der Niederschläge abgeklärt, d. h. alle Einzelniederschläge werden den regenbringenden Winden zugeordnet: Die 35% der W–SW-Winde führen danach rund 60% der gesamten Niederschlagsmenge ins Gebiet; Wind E–NE mit 30% bringt 27% des Niederschlags, Wind S–SE mit 25% bringt nur 4% (Föhn!).

Zur räumlichen Niederschlagserfassung dienen Niederschlagskarten und -profile, denen als Spezialität die Trockeninsel Huttwil-Eriswil zu entnehmen ist (Fig. 1 und 22). Der Höhenstufung 500–1000 m ü. M. entspricht eine Niederschlagszunahme von ca. 500 mm/Jahr. Der mittlere jährliche Niederschlags-Gradient beträgt also 100 mm/100 m. Eine statistische Beziehung Niederschlag = f (Meereshöhe) aber zeigt wie andernorts auch für die Langetestationen eine grosse Streuung.

Was die *zeitliche Verteilung* des Niederschlags betrifft, so fügt sich von den Jahressummen aus unser Untersuchungsjahrzehnt 1959–68 als durchschnittliche Zeit in die 70 Jahre ein, für die wir aus der Gegend Beobachtungen besitzen. 1965 muss für das Gebiet als das nasse Jahr des bisherigen Jahrhunderts bezeichnet werden (Gebietsniederschlag 153 cm), das Jahr 1964 empfing 92 cm. Bei den *Monatsniederschlägen* finden wir die übliche Sommeraufwölbung (August-Maximum).

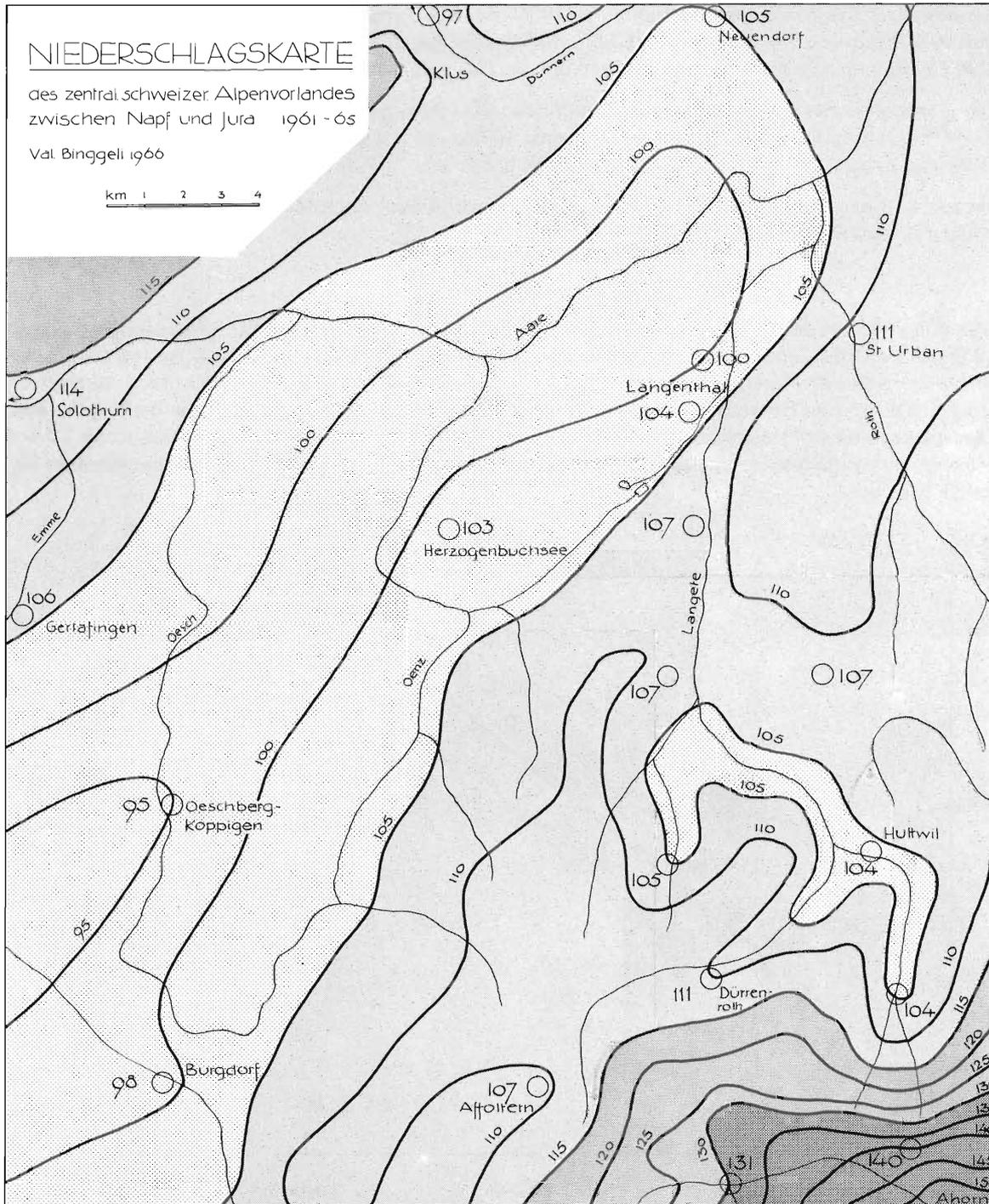


Fig. 1 Niederschlagskarte des zentralen schweizerischen Alpenvorlandes zwischen Napf und Jura 1961–65. Mittlere jährliche Niederschlagshöhen in cm.

Rund 1000 Niederschlagstage der Station Langenthal (1961–68) wurden auf die *Häufigkeit* des Niederschlags untersucht, wobei der Herbst niedrigste Häufigkeit zeigt (Oktober). Die Verhältnisse sind den alpinen sehr ähnlich.

In die Bearbeitung von *Ertrag, Dauer und Intensität* von Einzelniederschlägen wurden rund 800 Fälle (1961–66) einbezogen. Was den Ertrag (Niederschlagsmenge oder -höhe) betrifft, ergeben sich für die

Einzelniederschläge wie erwartet relativ kleine Werte. 61% weisen Erträge < 5 mm auf, 32% solche von 5–19.9 mm und 7% solche von 20–50 mm; für die angegebene Untersuchungsperiode überschritt kein Fall 50 mm. Höchster Wert in Langenthal seit 1942: 71 mm/Tag; 1.1 mm/min. (Dauer: 25 min.).

Die *Intensitäten* der Einzelniederschläge sind aber allgemein gering, 97% der Fälle < 0.1 mm/min.; 1.4% > 0.2 mm/min. Daraus geht hervor, dass die Dauer der Einzelniederschläge relativ gross ist: 3.5% haben eine Dauer von < 1 h, 57% von 1–8 h, 6% von > 24 h.

Da solche Detailuntersuchungen für unsern Alpenvorlandraum noch fehlen, sind Vergleiche nur mit andern Gebieten möglich.

Abfluss

Das 45jährige Mittel der Langete in Lotzwil beträgt $2.02 \text{ m}^3/\text{s}$. Für unser Untersuchungs Jahrzehnt 1959–68 lautet die Zahl $2.08 \text{ m}^3/\text{s}$ oder $18.11/\text{s} \cdot \text{km}^2$ (1966: $2.89 \text{ m}^3/\text{s}$; 1964: $1.37 \text{ m}^3/\text{s}$). Die Dauer-Kurve der Abflussmengen (Abfluss an T Tagen pro Jahr vorhanden oder überschritten) verläuft im Vergleich zu andern Gebieten des Alpenvorlandes flacher, weist also ein ausgeglichenes Regime aus. Dies gilt auch für die Monatstotale, wo der März mit einem mittleren Abfluss-Koeffizienten von 1.2 das Maximum zeigt (Schneeschnmelze): Es liegt ein Schneeregime (type nivale) mit untergeordnetem Regeneinfluss vor.

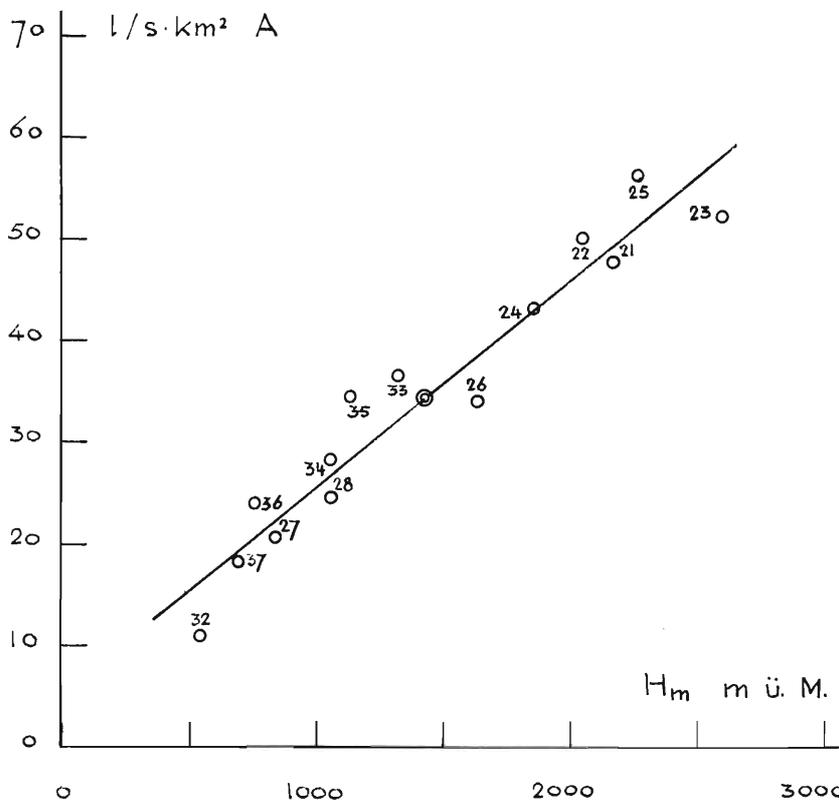


Fig. 2 Beziehung zwischen jährlicher Abfluss-Spende und mittlerer Meereshöhe für Flussgebiete des Aareraums gemäss Tab. 13.

Regression: $A = 0.020 H_m + 5.444$ ($r = 0.96$). A in $\text{l/s} \cdot \text{km}^2$; H_m in m ü. M. Der relativ flache Verlauf der Ausgleichsgeraden entspricht einem Abflussgradienten $A_G = 2 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2 \cdot 100 \text{ m}$ Höhendifferenz. Mittlere Höhenlage aller Gebiete: 1430 m, mittlere Abfluss-Spende aller Gebiete: $34.3 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$

Kleinste Abfluss-Koeffizienten treten August bis Oktober mit 0.8 auf. Für die ausgeglichene mittlere Wasserführung machen wir Retentionen in der klüftigen Nagelfluh des Oberlaufes, Bewaldung und insbesondere das Bewässerungssystem der Wässermatten verantwortlich.

Wenn wir dagegen die Schwankungen zwischen den Extremabflüssen (Quotient aus höchster und tiefster gemessener Abflussmenge) mit andern Alpenvorlandflüssen vergleichen, so weist die Langete den hohen Wert von $Q = 780$ auf (Gürbe 630, Sense 429, Murg 563). Die *Gegensätzlichkeit* von ausgeglichener Mittelwasserführung und stark schwankenden Extremabflüssen ist spezifisches Merkmal des Abflussregimes der Langete. Die Korrelation der Abflusszahlen der zwei Teil-Einzugsgebiete für die kurze vorhandene Messperiode 1966–68 erweist sich als eng. Für die Abflüsse A in $l/s \cdot km^2$ der Langete/Lotzwil (A_{Lo}) und Langete/Huttwil (A_{Hu}) lautet die Bezugsgleichung: $A_{Lo} = 1.21 A_{Hu} - 6.19$ ($r = 0.96$).

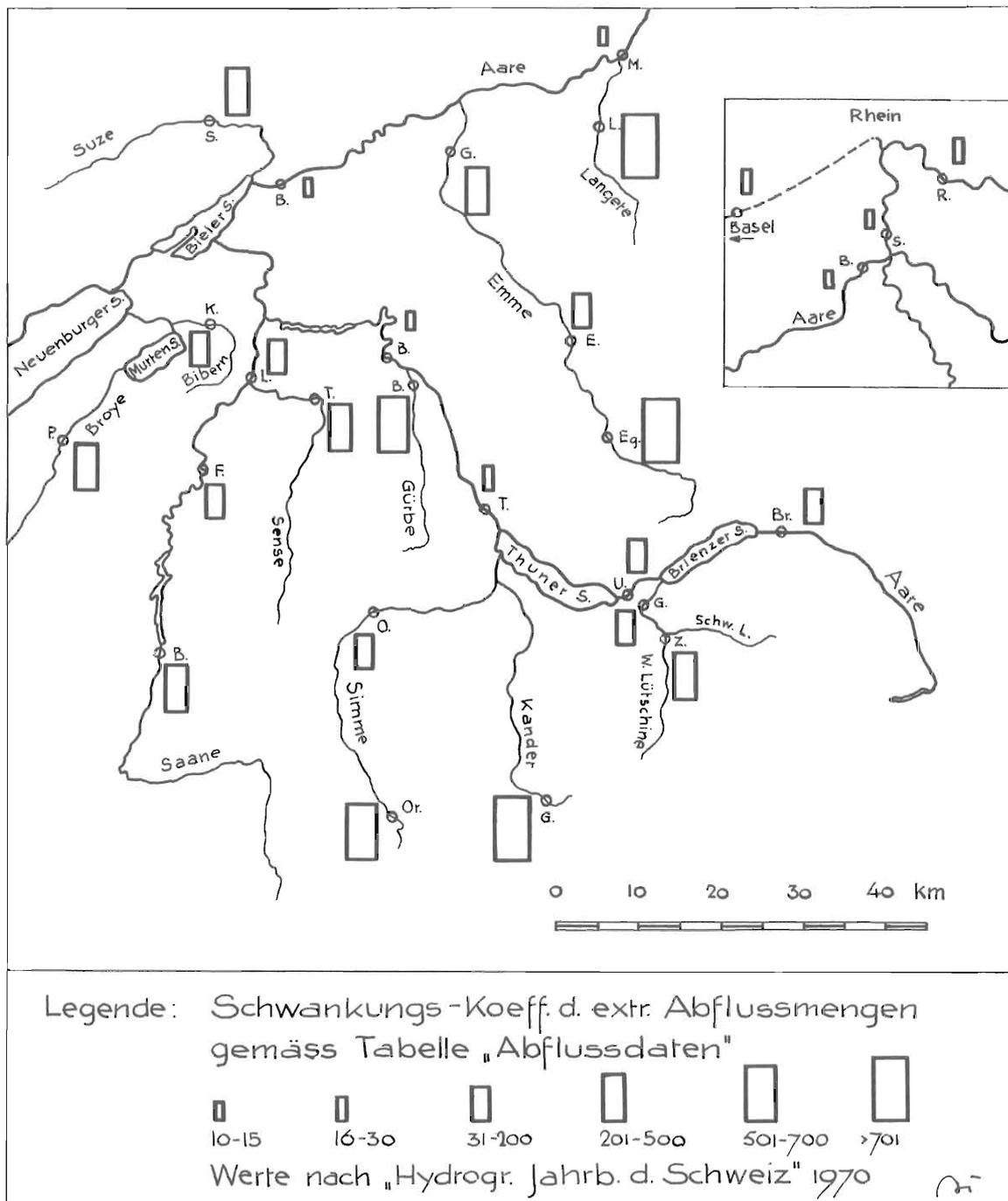


Fig. 3 Karte der Abfluss-Schwankungen im Aaregebiet: Quotienten von Maximalspitze und minimalem Tagesmittel

Zur Behandlung der *Hochwasserfragen* besaßen wir ausser den üblichen Limnigraphen-Aufzeichnungen detaillierte Protokolle über die Überschwemmungshochwasser seit 1950. Durchschnittlich zu 9 Malen im Jahr führt die Langete Hochwasser ($>4 \text{ m}^3/\text{s}$). Höchstwasser, die zu den berühmt-berüchtigten Notablässen durch die Gassen Langenthals Anlass geben, traten 1950–68 durchschnittlich 1 Mal jährlich auf, in 50 Jahren 1,5mal jährlich (Abflussmenge im allgemeinen $>9 \text{ m}^3/\text{s}$). Die monatliche Verteilung weist für die Höchstwasser ein Januar-Maximum aus (gefrorener Boden) und für Hochwasser wie Höchstwasser eine deutliche Kumulation im August (Gewitter). Eingehend dargestellt werden die beiden grossen Überschwemmungs-Hochwasser vom 13./14. Januar 1962 und 22. September 1968.

Über die Wassertemperaturen von Langete und Aare geben Jahresreihen mit wöchentlicher Messung Auskunft. Sie wurden in Beziehung zur Lufttemperatur gesetzt. Durch die asynchrone Lage der Monatsmittel von Luft- und Wassertemperatur, d. h. durch das Nachhinken der letzteren, ist die Asymmetrie der Fluss-Temperaturkurve gegeben (längerer aufsteigender Ast). Die Jahresschwankung der Monatsmittel ist für die Lufttemperatur rund doppelt so gross wie für das Langetewasser (13.3°C). Die Langete stellt hydrothermisch den Typus des Gebirgsflusses dar.

Die *Abflussgeschwindigkeiten* der Langete bei Langenthal liegen an der oberen Grenze bekannter Werte von Flüssen in Berg- und Hügelland. Niederwasser: $0.4\text{--}0.6 \text{ m/s}$; Mittelwasser: $0.7\text{--}0.9 \text{ m/s}$; Hochwasser: $1.5\text{--}2 \text{ m/s}$; grosse Hochwasser streckenweise $3\text{--}6 \text{ m/s}$.

Beziehungen Niederschlag/Abfluss; Bilanz

Für die Jahressummen von Niederschlag und Abfluss besteht enge Abhängigkeit. Die Korrelation der Werte von Niederschlag N und Abfluss A für beide der untersuchten Perioden ergibt:

$$\begin{array}{lll} 1924\text{--}68 & A = 0.66 N - 20.7 & r = 0.793 \\ 1959\text{--}68 & A = 0.54 N - 5.08 & r = 0.794 \end{array}$$

In der langen Jahresreihe fällt auf, dass in der Beziehung Niederschlag/Abfluss eine Nass-Trockenjahr-Retention spielt; nasse, niederschlagsreiche Jahre wirken als Rücklagebildner, deshalb können ebenfalls relativ nasse Nachfolgejahre mit minder Niederschlag dennoch ungleich höhern Abfluss aufweisen (Aufbrauch). – Der mittlere Abflussfaktor des Jahrzehnts ($A = 57.7 \text{ cm}$, $N = 115 \text{ cm}$) beträgt 0.5 oder 50.2%; für die Periode 1924–68 (vom Niederschlag aus nur approximative Gebietsmittel) erhalten wir 0.48 oder 48%.

Im Verlaufe des Jahres sind die Monatswerte von Niederschlag und Abfluss teils gegenläufig: Dem Niederschlags-Minimalmonat Februar steht das Abflussmaximum vom März entgegen, dann folgt allgemein Divergenz bis in den Sommer, wobei die Abflussfaktoren fallen, die für das Sommerhalbjahr (IV–IX = 48%) um 14% tiefer liegen als im Winter.

Es werden Detailuntersuchungen von 12 verschieden ergiebigen und intensiven Einzelniederschlägen und ihren Hochwassermengen vorgelegt. Dabei konstatieren wir ein äusserst kompliziertes Zusammenspiel verschiedener, das Abflussgeschehen steuernder Faktoren (allgemeine Klimalage, vorgängige Witterung, Boden, Art des Niederschlags, dessen Höhe, Dauer und Intensität). Wird das interimistische Grundwasser (Interflow in USA) einberechnet, so beläuft sich der Abflusszuwachs (Welle) für grosse Hochwasser auf $1.5\text{--}2 \text{ Mio m}^3$.

Eine gewisse Einheitlichkeit zeigt dabei einzig der *6-Stunden-Abfluss*: 6 Stunden nach Niederschlagsende ist durchwegs rund die Hälfte der Welle aus dem Gebiet abgeflossen.

Das Verhältnis von Abfluss zu Niederschlag (*Abflussfaktor*) hängt in erster Linie von Dauer und Intensität des Niederschlags ab und wird deutlich mitbestimmt durch den Bodenzustand. Die Werte variieren zwischen 2.4 und 40%. Der grösste Prozentsatz gehört einem grossen, relativ intensiven Niederschlag auf gefrorenen Januar-Boden zu, der kleinste einem geringen Niederschlag auf ungesättigten Boden im Sommer. Der Abflussfaktor grosser Hochwasser (Spitze um $30 \text{ m}^3/\text{s}$) steigt im allgemeinen auf 25–30%, bei mittleren Hochwassermengen (um $10 \text{ m}^3/\text{s}$) liegt er bei 10–15%, bei kleinen Hochwassern (um $4 \text{ m}^3/\text{s}$) unter 5%.

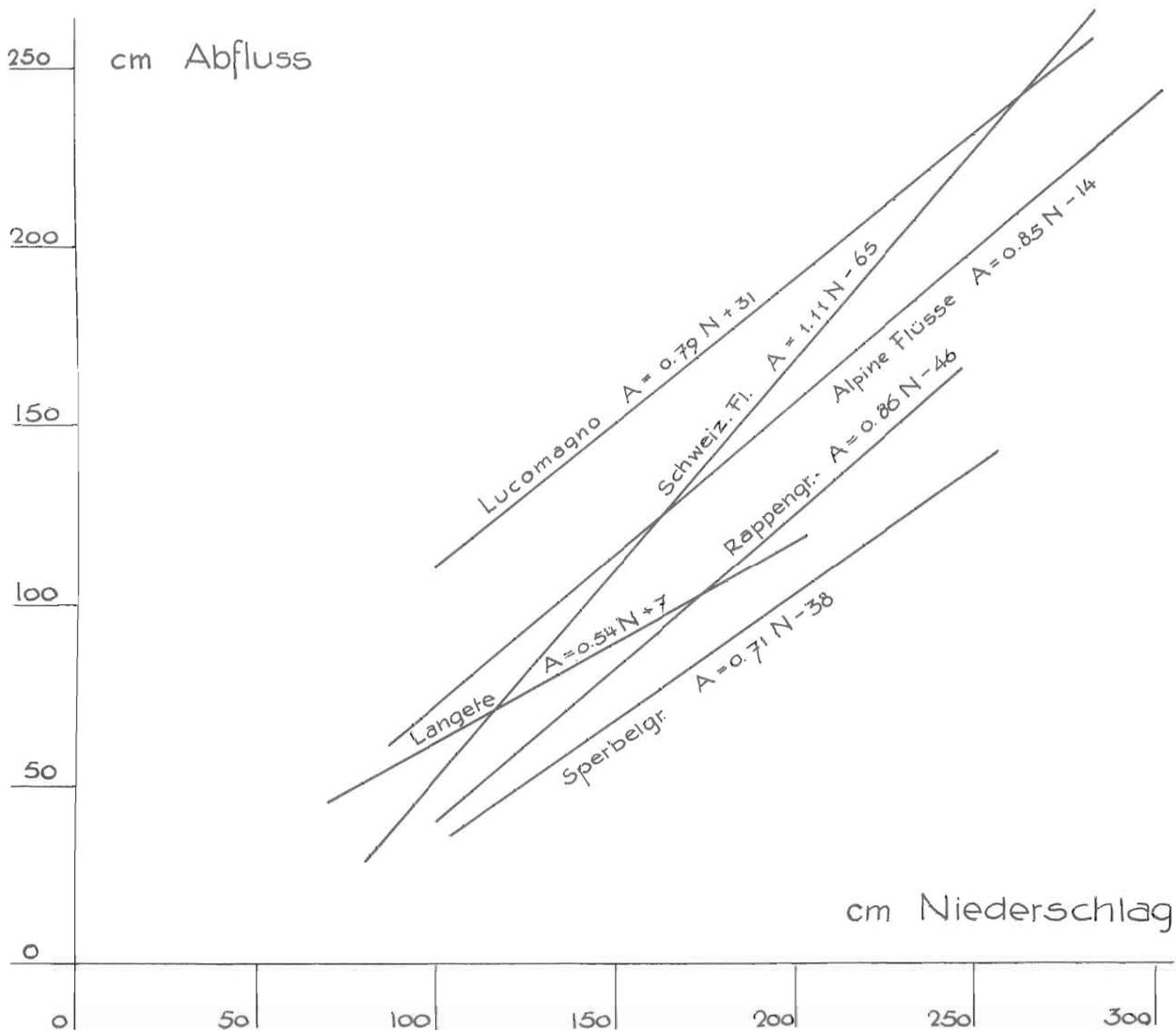


Fig. 4 Abflussfunktionen für Flüsse des Alpenvorlandes und der Alpen (Jahressummen). Dazu siehe S. 89. In der Gleichung für die Langete ist der Grundwasseranteil von 12.5 cm eingeschlossen. Das karsthydrologische Regime des Brenno del Lucomagno ist durch Fremdwasserzufluss charakterisiert und weist übernormalen Abfluss auf. Die niedrigen Abflusswerte des Sperbelgrabens sind auf ungewöhnlich hohen Bewaldungsanteil (99%) und entsprechend hohe Verdunstung zurückzuführen.

Es wird auf Grund von Spiegelbeobachtungen des *Grundwassers* ein weiteres Indiz für den Beckencharakter des grossen Vorkommens nördlich von Langenthal erbracht. Trinkwasserentnahmen, Überbauung von Einsickerungsflächen und Verkleinerung der bewässerten Areale führen zu einer noch weiter andauernden Senkung des Grundwassers. Durch diesen Vorgang wird die Beziehung zwischen Jahresniederschlagsmenge und mittlerem jährlichem Grundwasserspiegelstand verändert.

Nach den Quellaustritten von Brunnmatt-Roggwil beträgt die Wasserführung des Grundwasserstromes im Langetental im Mittel $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ oder $125 \text{ mm}/\text{Jahr}$.

Der hydrologischen Bilanz entspricht eine *Gebiets-Verdunstung*/Jahr von $V_m = 445 \text{ mm}$ (39% des Niederschlags). Es besteht Übereinstimmung mit dem Thurgebiet in gleicher Höhenlage; für das Mittelland im allgemeinen, bei 630 m ü. M., gibt WALSER (1954) $V_m = 530 \text{ mm}$ an.

Eine Einstufung der bekannten schweizerischen Verdunstungs-Werte nach der Höhe des Gebiets fällt nicht leicht. Nach evaporimetrischen Messungen mit dem Piche-Rohr besteht ein sommerlicher Verdunstungs-Gradient von $5 \text{ mm}/100 \text{ m}$.

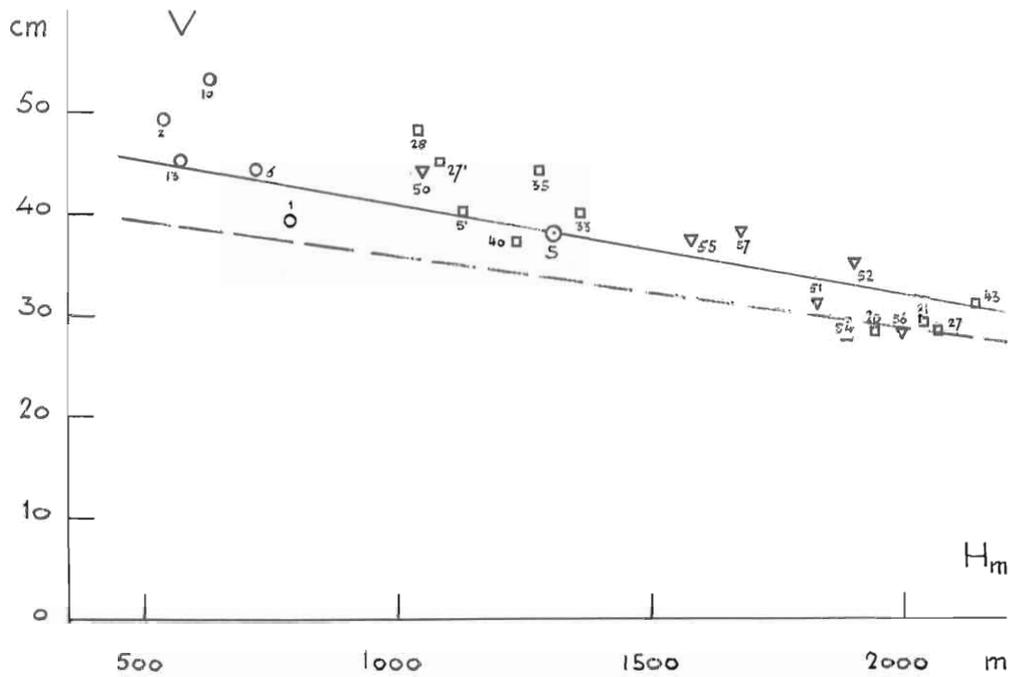


Fig. 5 Landesverdunstung V und mittlere Gebietshöhe H_m . Beziehung für 22 schweizerische Flussgebiete, numeriert gemäss Tab. 1. $V = -0.00884 H_m + 49.65$ (cm); $r = -0.65$. Kreis: Alpenvorlandgebiet. Quadrat: Alpennordhang. Dreieck: Alpensüdhang. Vergleichshalber ist gestrichelt eingetragen die Ausgleichsgerade, die LÜTSCHG (1944) berechnete.

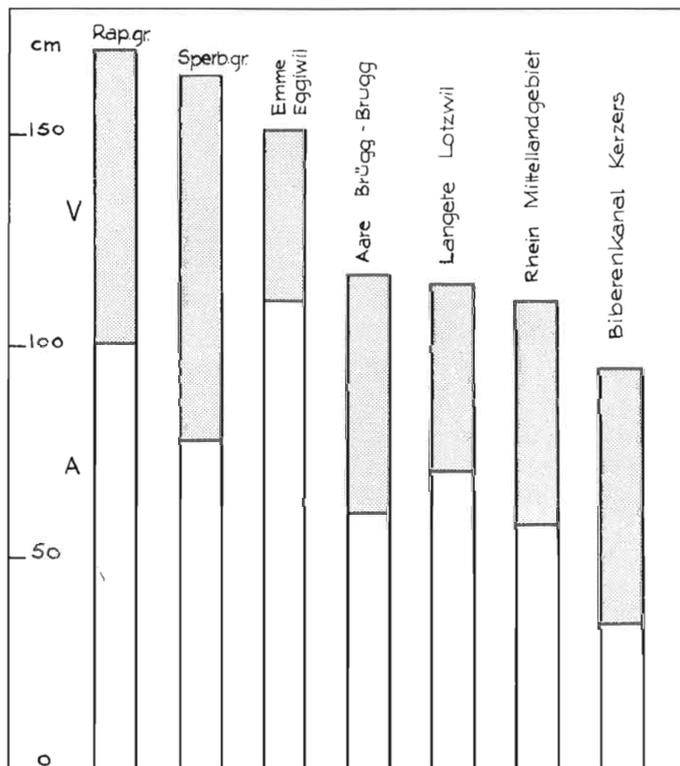


Fig. 6 Hydrologische Bilanzen von Flussgebieten des zentralen schweizerischen Alpenvorlandes. Verdunstung $V =$ Niederschlag $N -$ Abfluss A . Säulen: $A + V = N$. Vergleiche auch Tabelle 1.

Für die Abhängigkeit der mit der Wildschen Waage gemessenen Verdunstung von Temperatur T, relativer Feuchtigkeit F und Sonnenscheindauer S wurden folgende Beziehungen gefunden:

Langenthal 1965	Verdunstung V in mm/Monat	
Temperatur °C	$V = 1.27 T + 13.45$	$r = 0.85$
rel. Feuchtigkeit %	$V = -1.40 F + 130.37$	$r = 0.91$
Sonnenscheindauer h	$V = 0.16 S + 6.31$	$r = 0.86$

Durch sorgfältige Messungen belegt, ergibt sich folgende *hydrologische Bilanz*:

Langete 1959–68	A = 58 cm
	GW = 12.5 cm
	V = 44.5 cm
	<hr/>
	N = 115 cm

Fluviale Mineralfracht und Erosionsgrösse

Sie können in Art, Anteilen und Ausmass bestimmt werden, da die Langete dafür spezielle Grundlagen liefert, weil bei gefährlichen Hochwassern das Überwasser der Langete durch die Gassen Langenthals abgeleitet wird und die dabei mitgeführten *Geröll- oder Geschiebemengen* zu ermitteln sind. Dies wurde auf unsern Anstoss hin seit 1950 vorgenommen. Hauptergebnis sind die Korrelationen von: Geröllführung m^3 als Funktion der Abflussmenge m^3/s und der Abflussmasse $10^6 m^3/Jahr$.

$G = f(A\text{-Tagesmittel } A_m)$	$G = 14.759 A_m - 53.391$	$r = 0.83$
$G = f(A\text{-Spitze } A_s)$	$G = 10.013 A_s - 93.318$	$r = 0.76$
$G = f(A\text{-Masse } A_M)$	$G = 125.689 A_M + 42.204$	$r = 0.93$
$G = f(A\text{-Masse } A_M)$	$G = 18 + 238 A_M - 67 A_M^2$	$r = 0.96$

Es werden sodann jährliche und monatliche Geröllführungen der Langete berechnet und als geographisches Ergebnis die Abtragsgrösse. Vergleichbare Werte liegen hiezu bloss einige wenige vor.

Mittlerer Geröll-Gehalt	16 mg/l
Mittlerer Geröll-Abtrag	400 $m^3/Jahr$

Die *Schwebestoff-Fracht* der Langete, mittels Schöpfflasche A+W entnommen, wird seit einigen Jahren bestimmt. Die Korrelation mit der Wasserführung erweist sich als schwer aufstellbar. Vorläufige approximative Gleichung:

$$\log S = 0.37 A_m + 0.63 \quad r = 0.84 \quad S = \text{Schweb; mg/l}$$

$A_m = \text{Abfluss-Tagesmittel; } m^3/s$

Als mittleres spez. Gewicht wurde $\rho = 2.2$ ermittelt. In der Korngrössenverteilung erhalten wir feines Korn als dominierend:

1–0.125 mm \emptyset	= 8%
<0.125 mm \emptyset	= 92%

Mittlerer Schweb-Gehalt	90 mg/l
Mittlerer Schweb-Abtrag	2540 $m^3/Jahr$

Der *Lösungsfracht* wurde besondere Aufmerksamkeit geschenkt (1250 Analysen beider Wasserhärten), da sie sonst selten aufgrund von längern Messreihen in die Gesamt-Erosionsrechnung einbezogen worden ist. Mit Bezug auf Abhängigkeit der Härte vom Untergrund spezieller Teilgebiete lassen sich für Molasse (10–20° fH) und fluvioglaziale Zonen (20–30° fH) fliessende Übergänge festhalten. Mittlere Gesamthärte der Langete: 22° fH (Aare/Murgenthal: 17°, Rhein/Ragaz nach JAECKLI [1957] 14°).

Die auf dreijährigen Reihen basierenden Härte-Kurven von Langete und Aare dürfen als typisch für die nivalen Berglandregimes betrachtet werden (Langete: Schneeschmelze/Sommer-Verdunstung und -Grundwasserzutritt).

Mittlerer Lösungs-Gehalt	220 mg/l
Mittlerer Lösungs-Abtrag	8700 $m^3/Jahr$

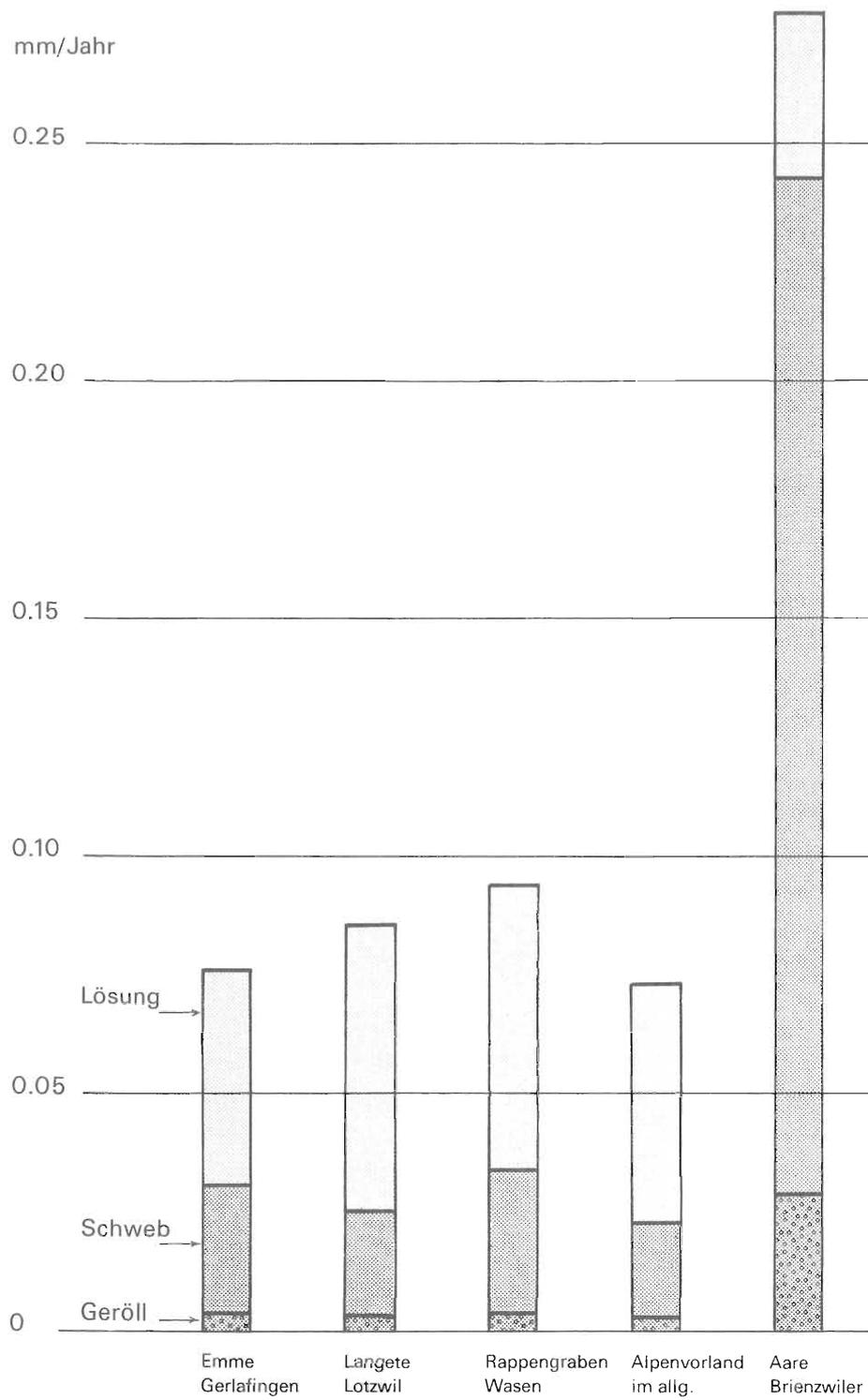


Fig. 7 Mittlerer Landesabtrag durch Flusstransport in mm/Jahr: Geröll, Schwebestoff und Lösung. Werte nach Eidg. Amt für Wasserwirtschaft 1939 (Aare), BURGER, 1954 (Rappengraben), LOUIS, 1968 (allgemeine Angaben) und eigenen Erhebungen (Langete, Rappengraben, Emme)

Die *Erosionsanteile* und ihre Abflussabhängigkeit ergeben sich aus den runden Proportionen:

Hochwasser	Geröll : Schweb : Lösung = 500 : 1000 : 200 mg/l
Mittelwasser	Geröll : Schweb : Lösung = 0 : 60 : 220 mg/l
Niederwasser	Geröll : Schweb : Lösung = 0 : 10 : 250 mg/l

Die Langete führt durchschnittlich um 70% ihrer Erosionsfracht in gelöster Form:

Geröll : Schweb : Lösung = 1 : 6 : 15

Für die gesamte Abtragshöhe (allgemeine Gebietserniedrigung durch Flusswerk) liegt die Lösungs-Zahl an der obern Grenze dessen, was an Werten aus Molasse-Gebieten des Alpenvorlandes bekannt ist:

Geröll	0.004 mm/Jahr
Schweb	0.022 mm/Jahr
Lösung	0.06 mm/Jahr
<u>Totalabtrag</u>	<u>0.09 mm/Jahr</u>

Hydroökologie

Am Falle des stark besiedelten und industrialisierten Unterlaufabschnitts der Langete wurde eine für das zentrale schweizerische Alpenvorland exemplarische Untersuchung durchgeführt. Als erstes wird dargelegt, in welcher entscheidender Weise das Flüsschen Langete die *Siedelungsentwicklung* Langenthals beeinflusste, indem es unter anderem durch das Überschwemmungsgebiet der «innern Allmend» zum Kuriosum Anlass gab, dass der innere, städtisch in geschlossener Bauweise errichtete Dorfkern den jüngsten historischen Baukörper des Fleckens darstellt.

Nochmals, im 18. Jahrhundert, griff das Walten des Langetewassers bestimmend ein, diesmal in die *Verkehrskonzeption*. Ein jahrelanger Kampf – bis zum Mittel der Bestechung geführt – wurde ausgetragen um die Linienführung der «alten Landstrass» Zürich–Bern. Die Langenthaler Handels- und Wirtheleute verloren. Über den Hauptgrund lässt der Staatsbericht von 1762 keine Zweifel offen: Ein gewichtiger, weitausholender Abschnitt ist den «Ergiessungen der Langete» gewidmet – ihnen ist demnach die heute noch mustergültige Tangentenführung der Überlandroute zu verdanken.

Was *Wasserangebot und Wassernutzung* betrifft, werden die Grundwasservorräte und -fassungsmengen der Region Langenthal in ihrer Entwicklung gezeigt und Formen und Probleme von 4 Haupttypen von Wasserversorgungsanlagen des Mittellandes erörtert.

Eingehend werden Anlage, Geschichte und hydrologische Bedeutung des grossen Meliorations- und Irrigationswerks der Langetematten dargestellt, das zur Hauptsache auf die Zisterzienser des Klosters St. Urban zurückreicht (12./13. Jahrhundert). Diese «ewigen Wiesen» und ihr Wässersystem empfehlen wir als günstige halbnatürliche Anlage zur Grundwasser-Anreicherung, dies im Blick auf die hohe Dringlichkeitsstufe, da im Zuge landwirtschaftlicher Umstrukturierung die Wässermatten stark in Abgang begriffen sind. Das grosse Wässerwerk führte zu einer Kulturlandschaft von besonderer Eigenart und Schönheit, der als Naturschutzgebiet, kulturhistorisches Denkmal wie als Erholungsraum hoher Wert zukommt.

Die Gewässerentwicklung im Rahmen des allgemeinen *Kulturlandschaftswandels* galt es – möglichst mittels quantitativer Angaben – in den zahlreichen Wechselwirkungen zwischen Wasser und Mensch zu erfassen, immer im landschaftlichen und hydrologischen Ganzen gesehen. Hauptpunkte der Kulturlandschaftsentwicklung, die ihren starken Einfluss auch auf den Wasserhaushalt nahmen, sind Rodung, Melioration und Überbauung. Schwerste Folgen liegen in Verschmutzung und Rückgang der Gewässer vor. Wasserhaushalts-Verschiebungen werden auf klimatische Ursachen hin geprüft – ohne Erfolg, sie sind anthropogener Herkunft.

Insbesondere der *Grundwasserschwund* muss verstärkter Sorgfalt rufen: Sein Ausmass vermögen wir mit Werten von Seespiegelständen, Quellerträgen und -temperaturen, vor allem aber mit Grundwasser-Pegelständen genau zu dokumentieren. Die allgemeine Absenkung von 1–2 m erweist sich als im Mittelfeld verschiedener Nachbargebiete stehend.

Die Austrittsmenge des Grundwassers im Quellgebiet von Roggwil ging von 1.7 m³/s zu Jahrhundertanfang auf heutige 0.9 m³/s zurück (1968); von 50 Aufstössen sind bei 30 abgegangen – als deutlich sichtbare Zeichen des Zeitpunkts! Eine hydrogeographische Kartierung des Unterlaufgebiets der Langete soll die problematische Entwicklung veranschaulichen. Die Beziehungen zwischen Seespiegel- und Grundwasserständen (Muemetaler Weier, Aarwangen) werden vorgelegt, ebenso der Einfluss von Hochwasserversickerung auf das Grundwasser im Hard/Langenthal (Anstieg bis 5 m).

Gewässerschützerische und landschaftsplanerische Sanierungsvorschläge, die auf allen vorangehenden Untersuchungen gründen, bilden zwangsläufig den Abschluss der Arbeit. Sie gehen als Rahmenideen in der Richtung intensiver Klärung der Oberflächengewässer, naturgemässer Erhaltung relativ ursprünglicher Lauf- und Landschaftsstriche der Langete, eingeschlossen die Wässermatten, dies vorwiegend im Blick auf den wesentlichen Schutz des Grundwassers. Was die geplante *Korrektur der Langete* betrifft, wird auf eine polyvalente Lösung tendiert, die verschiedene Massnahmen zur Hochwasserbekämpfung enthält und dabei grösste Rücksicht auf Gegebenheiten von Flusslandschaft und Wasserhaushalt nimmt.

1.4 Summary

There are already numerous studies about the hydrology of the Swiss Alps. With these papers, we should like to present a piece of research about a representative country in the plateau foreland, because there are only a few.

The valley of the Langete river encloses 132,7 km² (surface of hydrological area 115 km²; average altitude: 713 m; photo 3) and is to be found in the river district of the Aare. This country has a nearly natural river regime. The Langete monography was extended by comparison with values from other river-districts (Table 1, Fig. 8).

On the background of geology, morphology and climatology, the water balance of the years 1959–1968 was cleared (quantitative values of precipitation, run off, groundwater, evaporation). Because of the local conditions, the mean annual precipitation does not exactly depend on altitude above sea-level of the stations (Fig. 27). But the relation between precipitation area N (cm) and altitude H (m) we state much dependance for 23 Swiss North-Alpine drainage areas (Fig. 28):

$$N = 0.0594 H + 84.81 \quad \text{correlation coefficient: } r = 0.89$$

800 single rainfalls were studied relative to their quantity, duration and intensity.

Because of the retentions of groundwater and a great system of irrigation, the runoff characteristics demonstrate an equability of the mean coefficients of discharge

$$\frac{12 \cdot \text{monthly runoff}}{\text{annual runoff}} = 0.8 - 1.2$$

The mean lowest coefficient of discharge for 29 river districts in the area of Aare is 0.56, the mean greatest is 1.7. In the course of the year, the Langete proves to be a river of the called nival to nivo-pluvial type reaching its primary maximum of discharge in March (secondary autumn pluvial maximum in October). The discharge is influenced by snowmelt and, more directly, by rainfall (Fig. 62).

In the 45 years' period 1924–68, the mean annual discharge amounts to 2.02 m³/s, the maximal peak being 39 m³/s (331 l/s · km²). We state many variations between this peak and the lowest daily mean (coefficient of variation: 780).

From 1950 till 1968, there are yearly 9 high-waters (runoff > 4 m³/s) and 1½ extraordinary high-waters with inundation (peaks: 20–39 m³/s), at which a part of the water is conducted through the canal-street in Langenthal.

The monthly distribution for these catastrophal high-waters: 33% in January/February (frozen ground, snowmelt), 28% in August/September (tempests). Propositions and predictions are made for a correction of the river.

The relation between precipitation N and discharge A takes the following form:

$$A = 0.54 N + 7 \text{ (cm); } r = 0.79 \text{ (Fig. 59).}$$

The corresponding relation for 40 Swiss river districts (Tab. 1):

$$A = 1.114 N - 65.13 \text{ (cm); } r = 0.94 \text{ (Fig. 61)}$$

The discharge coefficient for the Langete river $\left(\frac{\text{runoff}}{\text{precipitation}} \right)$: DC = 0.61.

Aare, Brügg – Brugg: DC = 0.52, area of the Rhine in the Alpine foreland:

DC = 0.53 (excluded groundwater)

15 river districts of the Alpine foreland: DC = 0.54

36 Swiss river districts: DC = 0.72 (Tab. 21 and 28).

For the water balance of the Langete river district we can give the mean annual amount in the 10 years' period 1959–68:

Precipitation (from annual isohyd maps)	N = 115 cm	Groundwater	GW = 12.5
Runoff	A = 58	Evaporation	V = 44.5
		(= 39% of N)

Corresponding values for 15 river districts
in the Swiss Alpine foreland:

Precipitation = 124 cm
Runoff = 67
Evaporation = 57

Corresponding values for 36
Alpine river districts:

Precipitation = 178 cm
Runoff = 138
Evaporation = 40

It's possible to give the amounts of solid discharge in a river without measurement of its delta, because we can measure its depositions in the canal-street at Langenthal. Add to this come numerous measurements of the suspended load and chemical solution; the latter is very important. But the water of the Langete shows an exceptional great value of solution.

Proportion pebble load: suspended load: chemical solution
= 1 : 6 : 15.

Mean erosion in the Langete river district: 0.09 mm/year.

Relations between pebble load G and runoff A ($G = m^3$; A_M in Mio m^3 for the single high-water (Fig. 74):

$$G = 125 \cdot 689 A_M + 42.204 (m^3); \quad r = 0.93$$

$$G = 18 + 238 A_M - 67 A_M^2 (m^3); \quad r = 0.96$$

Concerning the relations between man, water and the whole landscape of the Langete river district the developments were researched, especially during the modern time of intensive industrialization since the Second Great war 1939–45. (See the geographical and hydrological development map 9.2) The most important consequence of the human actions (clearing, drainage, irrigation, building operation and water supply) appears in the regression of the groundwater (1–2 m). The groundwater sources at Madiswil, which are exploited by the municipality of Langenthal, shows a regression of their mean amounts from 3000 l/min (1946) to 1500 l/min to-day (Fig. 110).

For the numerous great groundwater sources in the lower Langete valley, where the whole groundwater of the Langete drainage basin comes out, the runoff amounted 1916 = 100 000 l/min and 1968 = 55 000 l/min.

Here there used to be 50 groundwater sources in the lowest Langete valley (Brunnmatten, Roggwil; see map 9.2), 30 of them dried up, or they only work in case of inundations, because we drain the inundation waters by infiltration in the Hard forest (protection of Langenthal city). In these periods of a great inadvertent recharge, the water level in the Hard basin northern of Langenthal mounts to 2–5 m (Fig. 114).

The same favourable effect of a large infiltration show the systems of irrigated meadows («Wässermatten»). These irrigation systems in the Swiss Alpine foreland have existed since Middle Ages. (They may be called the oldest agricultural lands in Switzerland.) Most of them were installed by the Cistercian monks of St. Urban Monastery (foundation 1194). These «Wässermatten» are a very beautiful scenery of water, trees, bushes, birds, game and innumerable little animals, a future preservation of natural beauty. For the people it's a favourite recreation landscape.

Because of the modern regress of the areas with these irrigation meadows, especially in the industrialization period since the Second World War 1939–45, the groundwater is regressing, too. The subsoil in our valley plains is very permeable, though the surface is floored by fine silt, which is suspended material from the irrigation waters. This advertent irrigation is working as a half-natural inadvertent recharge. A study by Leibundgut in the year 1971 shows as its most important result that in a 35 days' period of usual agrarian irrigation in the «Wässermatten» an amount of 0.8 Mio m^3 is infiltrated as half natural recharge (Fig. 111).

The agrarian method of irrigated meadows cannot be carried on by the farmers, because it's no longer economical. Therefore, it's the duty of the public (community, State) to take over this good form of groundwater recharge, that means to compensate the peasants for their deficits.

In the same sence we propose a river correction by retention basins, to save the lower river district from high-water. If these basins are put into the «Wässermatten» areas, also the water of discharge-peaks may contribute to the groundwater. We state that in these periods of a great inadvertent recharge (1–2 Mio m^3) the water table in the Hard basin in the north of Langenthal mounts to 2–5 m (Fig. 114).

2. Konzept und Messunterlagen

2.1. Test- und Vergleichsgebiete des Alpenvorlandes

Zu den zwei Teileinzugsgebieten der Langete (Häberen, resp. Lotzwil) kommen als nächstliegende Testgebiete A+W jene von Rappen- und Sperbelgraben im Napf, auf deren besondere Bedeutung bereits hingewiesen wurde. Als weitere Testgebiete des zentralen schweizerischen Alpenvorlandes enthält die A+W-Karte (Hydrogr. Jahrbuch der Schweiz) jene der Bibern (Kerzers), der Gürbe, Belp, und der Sense, Thörishaus (Abb. 1–5). Eigene systematische Messreihen wurden in den beiden Lange-gebieten durchgeführt, Stichproben in den genannten Napfgräben und an der Emme (Fig. 8).

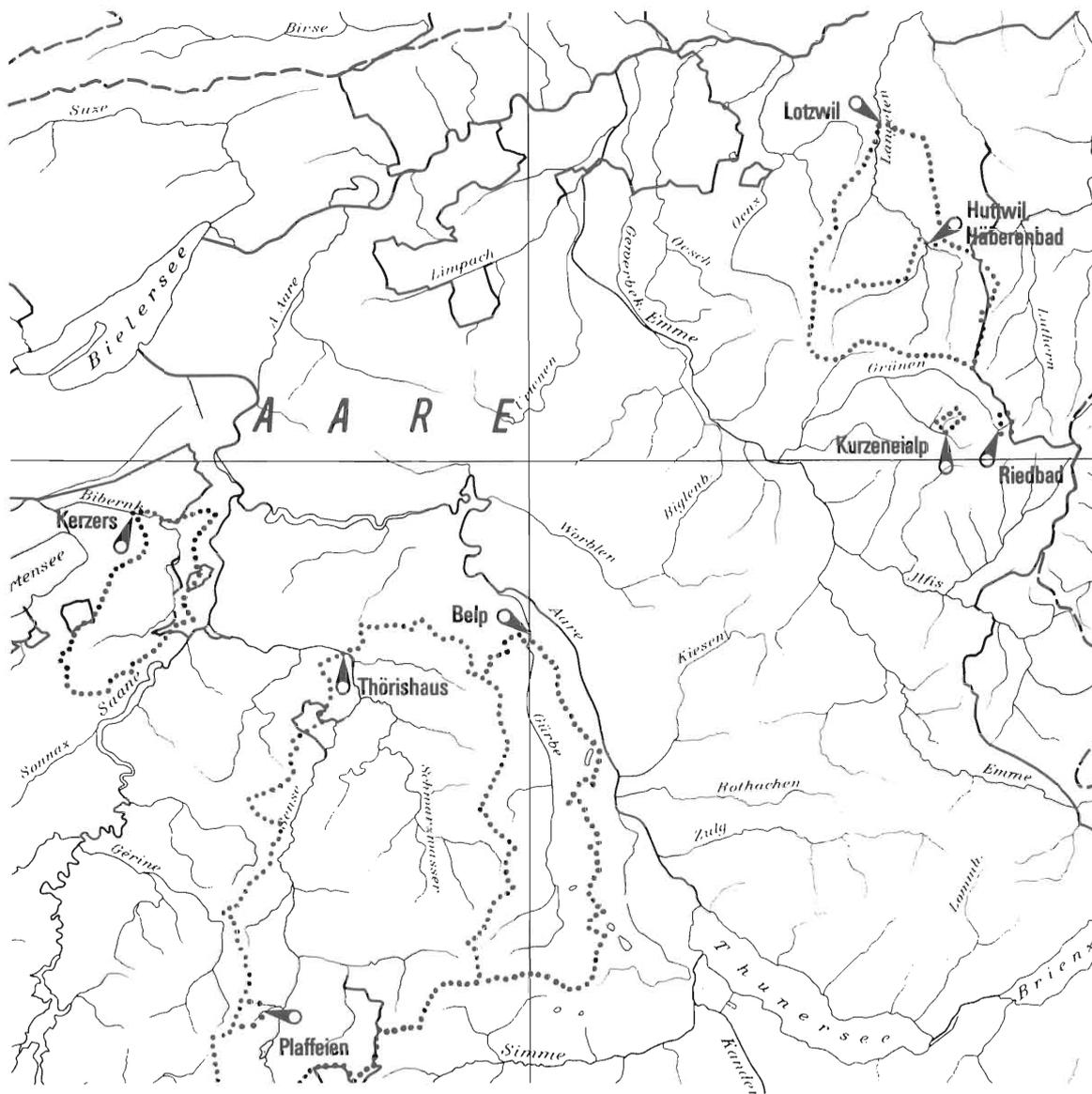


Fig. 8 Hydrologische Testgebiete A+W im zentralen schweizerischen Alpenvorland. Nach «Hydrogr. Jahrbuch der Schweiz» 1972. Repr. mit Bewilligung des A+W vom 4. 9. 1973.

Als weitere Vergleichsräume aus dem Alpenvorland und der übrigen Schweiz konnten die in Tab. 1 ersichtlichen Gebiete herangezogen werden. Dabei muss betont sein, dass deren Werte recht verschiedene Herkunft bezüglich Stationsdichte, Beobachtungsdauer und Messmethodik aufweisen, ergo entsprechend bedingte Vergleichbarkeit besteht.

Was insbesondere die Gebietsniederschläge betrifft, stellen die einen Werte – vorab diejenigen der kleinern Räume – Resultate aus Detailstudien dar, während andere beispielsweise mittels Umrechnung der entsprechenden Abschnitte in der MZA-Niederschlagskarte von UTTINGER (1949) entstanden.

2.2. Das Testgebiet Langete

2.2.1. Problemstellung, Methodik, Ziele

Nachdem über alpine und subalpine Gebiete der Schweiz bereits recht zahlreiche Wasserhaushalts-Untersuchungen vorlagen, stellten wir uns als Hauptaufgabe, die Berechnung und vergleichende Bearbeitung von hydrologischen Bilanzen für das zentrale schweizerische *Alpenvorland* vorzunehmen, insbesondere für ein Flussgebiet des tiefen Mittellandes (Plateau), wo hierin bisher eine Lücke bestand.

In Fortsetzung der von LUETSCHG begonnenen systematischen Untersuchung von *repräsentativen Forschungsgebieten* war ein überschaubares, doch nicht zu eng begrenztes Flussgebiet nach geographisch-hydrologischen Methoden zu bearbeiten: Es galt also vorab, alle den Wasserhaushalt betreffenden Zusammenhänge zu erhellen. Derart wird einerseits auf bestimmte landschaftliche Gegebenheiten bezogen, andererseits aber doch ein Typfall für einen grösseren Rahmen ermöglicht. Durchwegs galt als Grundsatz, die Angaben in quantitativer Form vorzulegen, wie insbesondere auch, sie statistisch, graphisch und kartographisch auszuwerten.

Zur *Niederschlags-Charakteristik* stellte sich als erste Aufgabe, für die Erstellung der Wasserbilanz den Gebietsniederschlag zu ermitteln, d. h. entsprechende, auf einem engmaschigen Messnetz basierende Niederschlagskarten vorzulegen. Hieraus wäre sodann nach Möglichkeit die Frage zu beantworten, ob in dem schwach reliefierten Plateauland eine mengenmässige Differenzierung der Niederschlagsmittel messbar akzentuiert vorhanden sei. Besonderes Augenmerk galt der Analyse von Einzelniederschlägen bezüglich ihrer Ergiebigkeit, Dauer und Intensität.

Innerhalb der *Abfluss-Studien* interessierten neben den Angaben der Bilanzanteile besonders die Hochwasserabflüsse in ihrer Abhängigkeit von Einzelniederschlägen und Starkregen. Diesen Problemen kommt wesentliche praktische Bedeutung zu, was Flusskorrekturen betrifft. Die vorgelegten Zahlen und Prognosen müssen als vorläufige Werte betrachtet werden.

Ein wesentlicher Problemkreis stellte die *kartographische Darstellung* des Abflussgeschehens dar, wobei die Schwankungs- und Hochwasserkarten, vor allem aber die im Anhang beigegebene «Abflusskarte der Aare» als erste Versuche und Vorschläge zur Diskussion gestellt seien.

Da im Langetegebiet eine recht eigenartige, gute Möglichkeit zur Ermittlung der gesamten *Mineralfracht* eines Alpenvorlandflusses ohne Delta bestand, erwuchs hier ein spezielles Untersuchungsfeld. Es waren die Beziehungen zur Wasserführung, insbesondere bei Hochwasser, abzuklären und als Hauptziel die quantitativen Ausmasse der Erosion. Diesen Erhebungen und Problemen gilt ein künftiges, erweitertes Untersuchungsprogramm im Alpenvorland.

Um in der landschaftsökologischen Ganzheit den Gesamtwasserhaushalt erfassen zu können, war einmal der in aufgeschotterten Talgebieten wesentliche *Grundwasser-Anteil* zu ermitteln, waren sodann auch die *anthropogenen Einflüsse* quantitativ abzuklären. Hier lag ein Hauptakzent unserer Arbeit, auf der Untersuchung der Beziehungen zwischen Wasser und Mensch und ihren Veränderungen innerhalb des allgemeinen Kulturlandschaftswandels, so was Hochwasser, Grundwasser und Bewässerung betrifft.

Auch die Erfassung der anthropogenen Wirkungen auf Bild und Haushalt der Gewässer warf kartographische Probleme auf: Eine Darstellungsmethodik für die ebenfalls beigelegte «Hydrogeographische Karte des unteren Langetentals» musste weitgehend vorerst entwickelt werden.

Schliesslich gab eine Zusammenstellung der *Bilanz-Hauptwerte aus bisherigen schweizerischen Untersuchungsgebieten* ausser einem Überblick die Möglichkeit, Beziehungen, Vergleiche und synthetische Darstellungen vorzunehmen, wie sie aufgrund der heute verfügbaren Daten wohl einmal gewagt werden durften.

Wer sich bemüht um wissenschaftliche Erfassung und Erkenntnis von Naturkindern, wie die Gewässer solche sind, wird bald gewahr werden, welche Schwierigkeiten, offenen Fragen und gesetzte Grenzen

er in Kauf zu nehmen hat. Dies beginnt bereits mit den Grundlagen, den Messungen. Probleme, Umfang und Methodik der Messungen werden im folgenden Abschnitt erörtert.

2.2.2. Beobachtungen, Messungen, Stationsnetz

Zur Auswertung in der vorliegenden Arbeit lag ein umfangreiches Material an Beobachtungen und Zahlenwerten vor. Als wir in den 50er Jahren eine für uns zweckdienliche Methode der *Niederschlagsmessung* erörterten, stand einerseits das Verdunstungsproblem der üblichen Hellmann-Regenmesser zur Diskussion, andererseits deren aufwendige *Wartung* (tägliche Ablesung). Der daraufhin erfolgte Einsatz *alpiner Monatstotalisatoren* in ein systematisches Netz des Alpenvorlandes hat sich gut bewährt und ist in letzter Zeit nun auch andernorts vorgenommen worden.

Methodischen Messfehlern wie den Störeinflüssen des Windes, insbesondere was Schnee-Verwehung betrifft, ist das *Niederschlagsversuchsfeld Langenthal* gewidmet (1 Hochgebirgs-Totalisator, 4 Monats-Totalisatoren, 1 Hellmann-Regenmesser, 2 Fluviographen; Abb. 24). Einmal werden hier vergleichende Messungen verschiedener Apparate angestellt, zum andern sollte mittels gestufter Höhenlage der Eintrittsöffnungen (1.5 m; 3 m; 19 m; 21 m) der Frage nachgegangen werden, wie weit mit zunehmendem Abstand von der Terrainoberfläche ein Minderertrag an Niederschlag (durch Windverwehung) gemessen wird.

Das aus 12 Stationen bestehende Niederschlags-Messnetz des Langetegebiets lieferte mit den 6 Anschluss- und Vergleichsstationen MZA der unmittelbaren Nachbarschaft eine detaillierte Unterlage zur Konstruktion von Niederschlagskarten, also zur räumlichen Erfassung des «Einnahmepostens» Niederschlag innerhalb der hydrologischen Bilanz.

Was die Messperiode 1959–68 betrifft, darf das Jahrzehnt als einigermaßen aussagekräftig bezeichnet werden, insbesondere was Mittelwerte betrifft. Dann standen auch Niederschlags- und Abfluss-Messreihen über Jahrzehnte hin zur Verfügung (Niederschlag: Stationen Affoltern i. E., Huttwil, Langenthal, St. Urban).

Die Standorte von Niederschlags- und Abfluss-Stationen sind der Karte Fig. 22 zu entnehmen. Der Erfassung der Schnee-Niederschläge dienen gewichtsmässige Bestimmungen. – Die Wetterstation Langenthal umfasst Thermo-Hygrograph, Sonnenautograph, Regen- und Windschreiber.

Zu Vergleichen benützten wir öfters die Ergebnisse der unweit entfernten Meteorologischen Station Oeschberg-Koppigen MZA (Abb. 16), die «zur schweizerischen Säkularstation werden soll» (LUGEON, 1960).

Was die *Abflussmessung* betrifft, hielten wir uns an die bewährte Praxis von Eidg. Wasserwirtschaftsamt und Geogr. Institut der Universität Bern (Limnigraphen; Flügelmessungen in Lotzwil und Häberenberg). Zur genaueren Hochwasserbeurteilung wurden jeweils auch *Abstiche am Pegel* Langenthal/Kaufhaus vorgenommen, zudem Austrittsstellen des Überflutungswassers aus dem Flussbett beobachtet. Kürzlich konnten erstmals, nach dem säkularen Hochwasser vom 21./22. November 1972, systematisch die Überschwemmungsareale *geflogen und photographisch* festgehalten werden (Abb. 25, 40).

In Zusammenarbeit mit dem genannten Bundesamt A+W wurde ein neues Schöpfgerät zur *Schwebestoff-Entnahme* eingesetzt, das durch seine düsenförmige Einflussoffnung bessere Mittelwerte gewährleisten soll (Abb. 28). Die zur Ermittlung der *Wasserhärten* entwickelte Feldmethode (Polyäthylen-Titrationsflasche, Trockenindikator Eriochromschwarz) erwies sich auch bei diesen langjährigen Messreihen im Alpenvorland für unsere Zwecke als hinreichend genau und sehr handlich (Bestimmungen an Flüssen, Grundwasser- und Hangquellen).

Die zur Gesamterfassung der Fluvialerosion nötige Messung der *Geröllfracht* – ein Spezialproblem in kleinen Flüssen ohne Delta – konnte für die Langete als dem wohl einzigen solchen Falle *direkt* gelöst werden: Es besteht der Umstand, dass zufolge der Hochwasser-Ablässe durch die Notkanäle Langenthals und der entsprechenden Schuttdeponie diese letztere erfasst werden kann, was seit 1950 geschieht.

Eine schreibende Verdunstungswaage (WILDsche Waage, Typ LAMBRECHT) wurde in Langenthal, einfache Evaporimeter (PICHE) wurden in verschiedenen Höhenlagen des Gebiets montiert (Abb. 23).

Das Wasserwirtschaftsamt des Kantons Bern begann parallel zu den bereits laufenden Untersuchungen mit einer chemisch-biologischen Untersuchungsreihe (Kantonales Gewässerschutz-Labor).

Über die *Grundwasserverhältnisse* des Gebiets lagen einige wesentliche Resultate vor, weitere werden gegenwärtig durch Kanton und Regionalplanungsverband erhoben. Ebenso konnten wir uns auf Untersuchungen stützen, die *Gemeinden und Industrien* ausführen liessen. – An einigen Quellen, auch Grundwasseraufstößen, nahmen wir Reihen über *Ergiebigkeit, Temperatur und Wasserhärten* vor, von letztern auch an der Langete, als *Hinweise auf Quellgebiete (Wasserherkunft) und Wasserqualität*, andererseits, um ein Mass der chemischen Erosion zu erhalten. Zu Vergleichen führte uns das Elektrizitätswerk Wynau entsprechende Analysen an der Aare durch.

Gewisser Fehlerquellen in den Messungen sind wir uns bewusst. Sie stehen jedoch im üblichen Bereich der Unsicherheit solcher Erhebungen in der Natur. Die wichtigsten Komponenten Niederschlag und Abfluss dürfen jedenfalls als auf sorgfältig unternommenen Messungen basierend gelten. Was die Niederschläge betrifft, war der Umstand günstig, dass durch all die Jahre unser kleines Messteam alle Arbeiten selbst durchführte. Auf Abflussmessungen hat sich das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft seit Jahrzehnten spezialisiert. So setzen wir voraus, die Werte seien als Grundlage unserer Darstellung repräsentativ und hinreichend genau.

2.2.3. Topographische Situation

Über Lage, Grenzen und Ausmasse des Langetegebiets gibt Abb. 9 Auskunft. Die Gradnetz-Angaben lauten: 47° 03'–47° 16' n Br./7° 44'–7° 53' e L. Das Flüsschen Langete ist das Hauptgewässer der nw Napfabdachung zwischen Emme und Wigger, entspringt am Ahorngrat in 1100 m und durchfliesst unterhalb Huttwil das obernärgauische Hügel- und Flachland (Abb. 12, 15 und 17). Bei 420 m liegt der

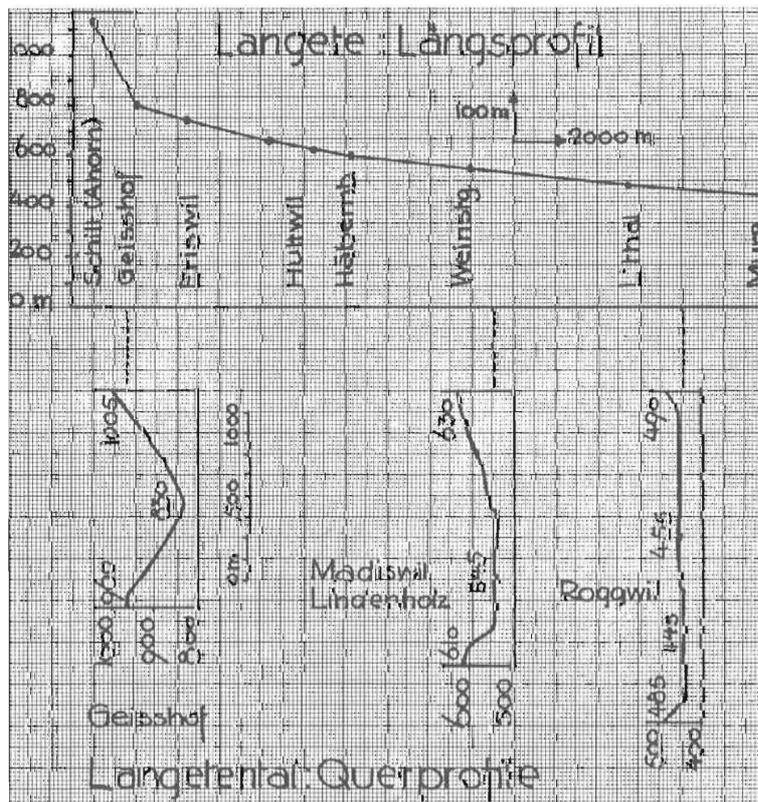


Fig. 9 Langete. Gefällsverhältnisse und Gliederung des Tales mittels Querprofilen

Zusammenfluss mit der Roth (von St. Urban), worauf die beiden, jetzt Murg genannt, nach kurzem Durchbruch durch den Wynauer Hügel in die Aare münden (405 m). Das eigentliche Talgebiet bis Langenthal weist eine Länge von 20 km auf, bis zur Roth 28 km, bis zur Aare 30 km.

Einzugsgebiet der Langete, Fläche des entwässerten Areals:

bis Mündung in die Aare (Murg)	199.3 km ²
bis St. Urban-Roth	132.7 km ²
bis Abfluss-Station Lotzwil	115.5 km ²
bis Abfluss-Station Häbernbach	59.9 km ²

Tab. 2: Langete, Gefällsverhältnisse. Gliederung des Flusslaufes nach dem Prinzip: Kerbtal, Sohlental, Akkumulationsebene

Talabschnitte	Höhen- differenz m	Lauf- länge km	Gefälle ‰
Oberlauf	310	1.750	17.7
Mittellauf	340	20.500	1.7
Unterlauf	45	5.500	0.8
Gesamtlauf	695	27.750	2.5

Fig. 9 gibt ein Bild des Längsprofils der Langete, worin sich vor allem der Oberlauf im Napfgebiet gut abhebt. Über 60% der Gebietsfläche fallen in die Höhenstufe 600 m–900 m, fast 40% in jene von 300 m–600 m, und bloss 1–2% liegen über 900 m. Auf die morphologischen Talteile Ober-, Mittel- und Unterlauf aber entfallen gleichenteils rund je 60 km² (Abb. 10–15, 17).

Das engere hydrologische Untersuchungsgebiet bis zur Limnigraphenstation Lotzwil macht 115 km² aus und entspricht ungefähr den beiden oberen Talabschnitten (Ober- und Mittellauf). Diese Taleinheit bildet demnach ein recht günstiges Studiengebiet, bietet einerseits flächenmässig genügend Spielraum für eine eingehende hydrologische Forschung, andererseits ist sie noch wohl überschau- und begehbar, da gut erschlossen und jederzeit erreichbar. Sie ist nach dem heutigen Stand der Kenntnis zudem als weitgehend «hydrologisch geschlossenes» Gebiet zu betrachten.

2.2.4. Geologisch-morphologische Grundzüge

Was allgemein Lage und Landschaftscharakter betrifft, sei verwiesen auf das «Jahrbuch des Oberaargaus», insbesondere auf BINGGELI (1962) und ZIMMERMANN (1968).

Die geologische Karte Fig. 10 zeigt für das Langetegebiet in charakteristischer Weise SW–NE streichende Bänder verschiedener Molassestufen, die von der Langete rechtwinklig gequert werden: von der bunten Napfnagelfluh (Torton) durch die obern marinen Sandsteinformationen Helvetien und Burdigalien zur untern mergeligen Süsswassermolasse (Aquitain, Wischbergsschichten) und schliesslich zum untern marinen Molassesandstein an der Aare (Stampien, Knauer- und Blättermolasse der Aarwangerschichten).

Diese Stufen, den zwei grossen tertiären Erosionszyklen entsprechend, liegen dachziegelartig aufeinander, zumeist horizontal – oder mit wenig Graden alpeneinwärts fallend –, so dass immer der nächsthöhere, jüngere Schichtkomplex dem ältern südwärts folgt und ihn zudeckt. Darauf sitzt abschliessend als Kappe der Napfschuttfächer.

Hauptgesteine, die die Langete auf ihrem Lauf durchfliesst, sind demnach zuerst die polygenen Konglomerate des Napfs, die oft zwischen flachen Böden und Terrassen (tonige, erosionsweichere Schichten) Steilen mit Wasserfällen bilden. Im Mittellauf stehen die das oberoergauische Plateau-Hügelland bildenden Sandsteinhorizonte an. Schliesslich sind die tiefern Talteile gekennzeichnet durch lehmig-mergelige Gesteine, die indessen nun weithin zugedeckt sind von Fluss- und Gletscherschutt. Wie der Oberlauf allgemein fluvialen Charakter trägt, so der Mittellauf fluvioglazialen (Talrinnen durch Gletscherschmelzflüsse entstanden); der tiefste Teil ist von glazial-fluvioglazialen Typus (flachwellige Moränen und Rundhöcker, ausgedehnte, als Grundwasserreservoirs bedeutsame Schotterfelder der eiszeitlichen Schmelzwasser).



Abb. 7 Schilt 1119 m, höchster Punkt im Einzugsgebiet der Langete. Niederschlagsstation Chipferweidli. Aufn. H. Scheidiger 1974

Abb. 8 Hochwasser der Langete vom 14. 1. 1962. Vollständige Überflutung der Ebene zwischen Langenthal und Roggwil. Anstieg des Grundwasserspiegels im Hardfeld: 1.5 m. Anreicherung des Grundwassers um ca. 1.5 Mio m³. Aufn. Chr. Leibundgut



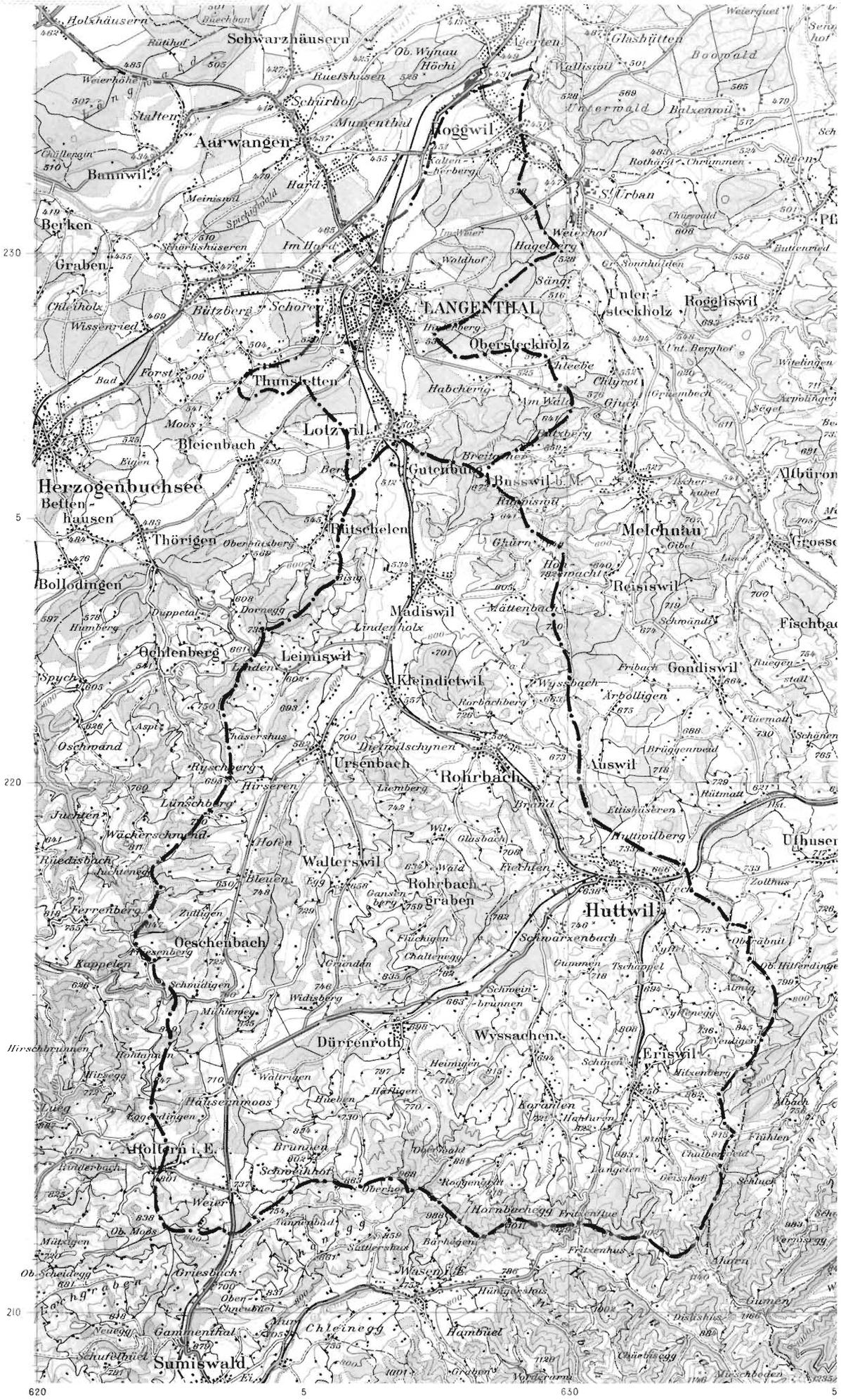


Abb. 9 Langengebiet, 115 km². Topographische Übersicht nach Landeskarte der Schweiz 1:100 000. Reproduziert mit Bewilligung der Eid. Landestopographie vom 11. 6. 1974.

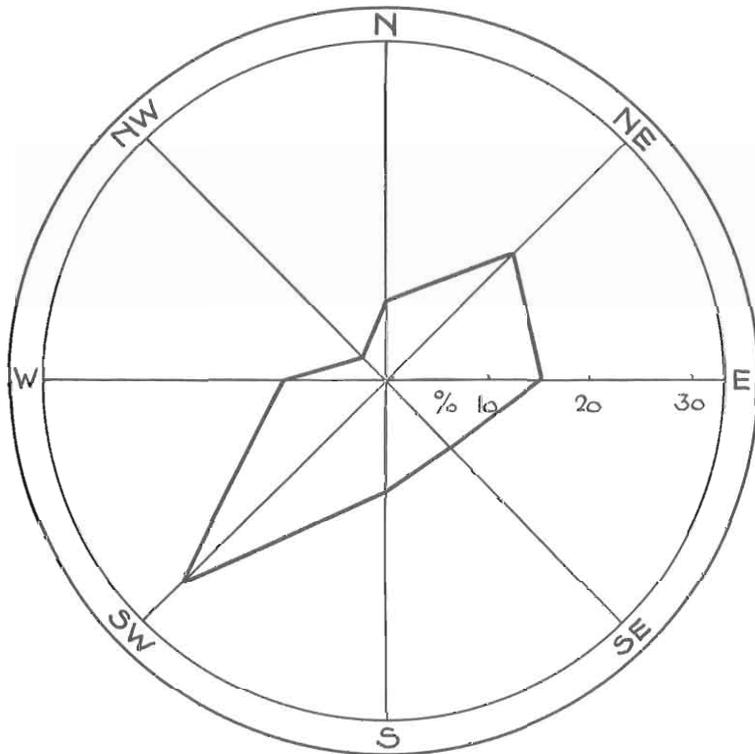


Fig. 11 Oeschberg-Koppigen MZA, 1961-67. Verteilung der Windrichtungen

Bei den Windrichtungen Fig. 11 ist ein deutliches Überwiegen der Diagonale Wätterluft – Bise vorhanden. Kennzeichnend für die Gegend der untern Langete ist die grosse *Nebelhäufigkeit*: Sie ist insbesondere an die Niederterrassenfelder gebunden, wo wir stets wieder die Beobachtung machen, dass bezeichnenderweise über den gutdurchlässigen Schotterböden der *Wässermatten* auch dann einzelne Nebelfelder oder -schwaden liegen, wenn die übrige Umgebung nebfrei ist.

Vorläufige Hinweise auf eine allfällige (nach den MZA-Sicherheitsschwellen nicht signifikante) klimatische *Verschiebung* finden wir bei den mittleren Monatsniederschlägen: Recht deutlich traten jedenfalls die jährlichen Trockenmonate innerhalb der internationalen Periode (1931-60) im Frühjahr ein, dagegen innerhalb der MZA-Periode (1901-40) im Winter. Dies gilt im selben Rahmen für den Grossteil der Schweiz, wobei nur diese beiden überlappenden Zeitintervalle betrachtet wurden.

Für die Gewässerverhältnisse des Untersuchungsgebiets erweist die topographische Karte, dass einmal Seen fehlen; als stehende Gewässer sind bloss einige künstliche Weiher vorhanden: Bleienbacher Moos (Torfstich), Sängeli (Lehmausbeutung), Muemetaler Weier (Bewässerungs- und Fischweiher Abb. 35, 40).

Der Rothbach (von Dürrenroth) als Hauptzufluss der Langete hat bis zur Mündung in diese ein Einzugsgebiet von 40 km², wogegen der Talfluss Langete bis zum selben Ort erst 20 km² entwässert hat. Ungefähr dieses Areal hat auch der Ursenbach, die übrigen Zuflüsse besitzen bedeutend geringere Einzugsgebiete.

In Fig. 12 erweist sich das oberaargauische Flussnetz als Übergangsgebiet zwischen unterer Emme und dem Luzerner/Aargauer Mittelland, wobei aber einige für unsere Aarezufüsse ganz spezifische Erscheinungen zu beachten sind. Einmal haben wir es im nördlichen Napfvorland mit *kürzeren* und entsprechend minder wasserführenden Flüssen zu tun als im östlich anschliessenden Mittelland. Der Grund ist in dem die allgemeine Mittelland-Abdachung durchbrechenden Napfbergland zu suchen (Fig. 10).

Es verengt gegen Norden zu das Mittelland, was überhaupt *eine für den Oberaargau in Natur- wie Kulturbild schlechthin schicksal- und charakterbestimmende Wirkung hatte*. Westlich und östlich des Napfes sind grosse Flüsse zur Sammelrinne am Jurafuss möglich. Die bedeutungsvolle Zuschnürung des Mittelland-Plateau ist indessen noch verstärkt durch eine auffallend weit südliche Entwicklung der Weissenstein-Kette im Leberberg (die Kette, die andererseits gegen Osten um so deutlicher zurückweicht und dann untertaucht).

In zweiter Linie verantwortlich für die *Kleinheit der Flüsse* – und in dem Punkte kann für die luzernisch-aargauischen Flüsse eine ähnliche Geschichte herausgelesen werden – sind die eiszeitlichen Gletscher, respektive ihre randlich abfliessenden Schmelzwasser, deren besprochene tiefe Rinnen die Oberläufe der früher weiter napfeinwärts reichenden Oberaargauer Flüsse anzapften.

Von Westen gegen Osten lassen sich mit Bezug auf die Gewässer in Fig. 12 drei Abschnitte erkennen. Die untere Emme im Westen hat subsequente, d. h. zum Mittelland längs verlaufende Zuflüsse (die Richtung des eiszeitlichen Rhonegletschers). Das Emme-Schwemmland, wie das der Langete, charakterisieren zudem zahlreiche Grundwasseraufstösse und Giessen.

Ein paar Schritte weiter ostwärts sind für das Moränenland die genannten glazialen Seebecken typisch. Und in diesem zweiten Abschnitt ändern sich gegenüber dem westlichen nun die *Flussrichtungen*. Wohl setzen sich subsequent die besprochenen markanten Trockentäler fort – ihrer Trockenheit gemäss nur angedeutet durch Flüsse, die sie streckenweise benützen. Die vier Hauptbäche des Oberaargaus jedoch weisen nun konsequente, d. h. der allgemeinen Mittelland-Abdachung folgende Querläufe auf. Im dritten Abschnitt zeigen die Luzerner/Aargauer Flüsse *nur* noch *konsequenten* Verlauf. Hier treten zudem die grossen, charakteristischen *Talseen* auf.

Gegenüber dem südlich anschliessenden radial entwässerten Napfgebiet liegen die Unterschiede auf der Hand. Die Langete hat als einziger Oberaargauer Fluss die alten Quellwurzeln in diesem wieder zurückzugewinnen vermocht. Schon die östlich folgende Wigger aber verzeichnet einen bedeutend längern Lauf.

Was die *Flussdichte* betrifft, sind bereits aus Fig. 12 die besprochenen Abschnitte wiederum zu erkennen. Die detaillierte Flussdichte-Karte zeigt für den engern Raum ungleich eindrucklicher die Verhältnisse. Es lassen sich aufgrund der dort erhaltenen Zahlenwerte folgende Grenzen und Zonen unterscheiden:

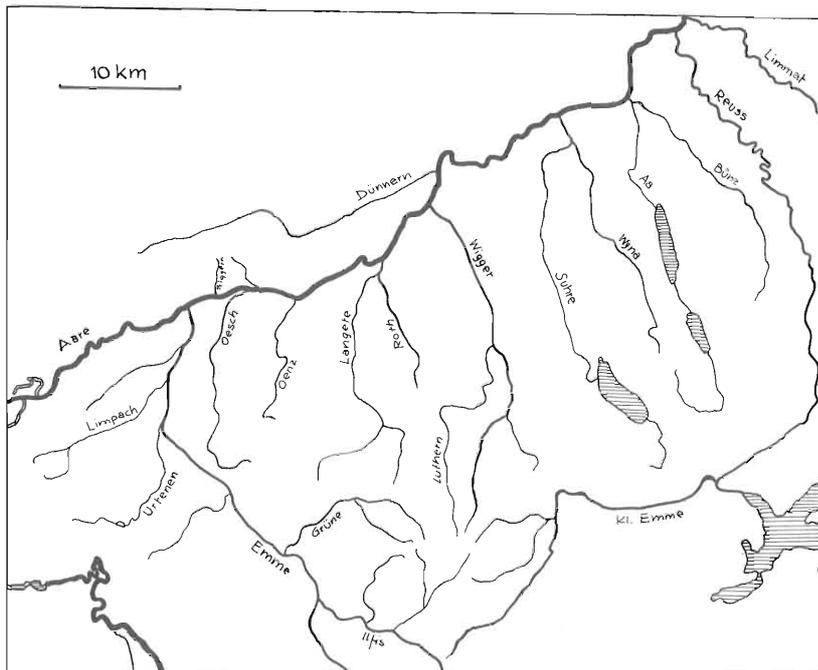


Fig. 12 Das Flussnetz des zentralen schweizerischen Alpenvorlandes

1. Eine Linie Kirchberg–Utzenstorf–Hersiwil–Subingen zwischen dem wasserreichen Land an der untern Emme und dem Schotter (Grundwasser) – Gebiet des tiefern Oberaargaus (Dichte bei 1). Mit hohen Werten spiegelt sich ebenfalls das Wässermattengebiet der untern Langete.
2. Eine Linie Kirchberg–Rumendingen–Riedtwil–Langenthal zwischen der letztgenannten Landschaft und dem Molasse-Plateau des höhern Mittellandes (Dichte 1.5).
3. hebt sich davon ab, südlich einer Linie Eriswil–Affoltern, das fluvial stark geprägte Napfbergland mit den weitaus grössten Dichten, bis zu 5 km/km².

3. Niederschlag

3.1. Grössenordnungen und Gewichtigkeit der Stationen

Die Schweiz ist als Alpenland ein niederschlagsreicher Raum. Rund 75% seiner Fläche erhalten über 100 cm Jahres-Niederschlag, währenddem im marinen England bloss die Hälfte davon entsprechend beregnet wird (Frankreich 15%; Deutschland 5%). Die mittlere Niederschlagshöhe der Erde beträgt zwischen 80 und 100 cm (nach verschiedenen Autoren).

BUDYKO	(1955)	93 cm
WUNDT	(1953)	88 cm
REICHEL	(1952)	81 cm
MÖLLER	(1951)	83 cm
MEINARDUS	(1934)	100 cm

Für das vorlandalpine Einzugsgebiet der Langete betragen die Hauptwerte unserer Periode 1959–1968 gemäss Niederschlagskarte Fig. 22 (dazu Tab. 3 und 24):

Jahresmittel	Niederschlagshöhe	115 cm
	Niederschlagsmasse	132 Mio m^3
	Niederschlagsspende	36,5 l/s · km^2

Wie weit diese Zahlen in einen räumlich und zeitlich grössern Rahmen passen, zeigt die von WALSER (1957) vorgenommene Planimetrierung der MZA-Karte (UTTINGER, 1949), wobei die dortige ungleich grössere Streuung der Stationen unsicherere Werte erbringt: Für das gesamte Aaregebiet bis Brugg resultieren 141 cm Jahresniederschlag, für die Emme 138 cm. Eine interessante Zahl hat sich für das Aaregebiet zwischen Brügg und Brugg (ohne Emme) ergeben, nämlich 115 cm, die gleiche Zahl wie unser Gebietsmittel Langete für 1959–1968! Die Zuständigkeit unserer wichtigsten Niederschlagszahl erfährt demnach die Stützung durch die langjährige Periode 1901–1940.

Während nach der MZA-Karte dem mittleren und tieferen Mittelland Jahreswerte zwischen 80 und 120 cm zukommen, sind es im subalpinen Mittelland (unter anderem Napf) 156 cm bis 200 cm. Diese Zahlen gelten auch für die Voralpen, für den Jura 120–150 cm, für die Hochalpen 200–400 cm.

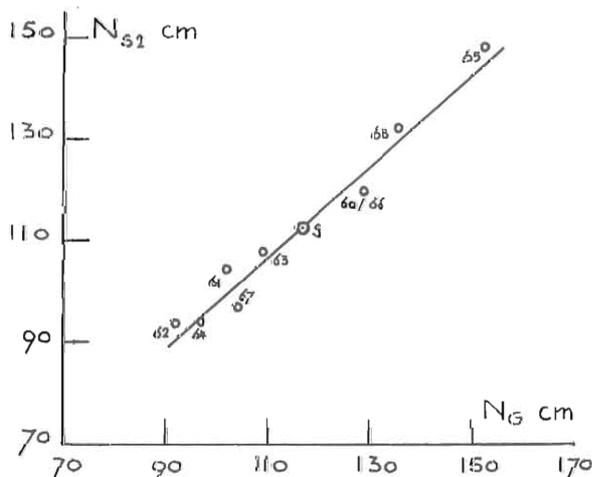


Fig. 13 Langete 1960–68. Stations-Niederschlag N_s in Abhängigkeit von Gebiets-Niederschlag N_G . Stationsniederschlag berechnet aus arithmetischem Mittel der Jahressummen von Affoltern i. E. und St. Urban (MZA-Stationen), gemäss Tab. 24; Gebiets-Niederschlag aus Niederschlagskarten. $N_s = 0.881 N_G + 9.797$ (cm); $r = 0.98$

Tab. 3: Langete 1959–68. Jährliche Niederschlagshöhen der Gebiets- und Nachbarstationen in cm (S = Summe 1959–68; M = Jahresmittel)

Station	m ü.M.	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	S	M
Langenthal, Hard	460	89	112	96	89	95	81	137	121	93	123	1036	104
Langenthal Brunnenrain	485	94	115	99	90	100	92	140	131	100	134	1095	110
Langenthal Pluviograph Sek.	485	78	100	86	75	83	71	118	104	82	107	904	90
Lotzwil	504	100	121	104	96	105	88	140	122	104	131	1111	111
Leimiswil	590	99	124	108	93	104	88	143	117	58	129	1103	110
Huttwil	640	96	111	96	87	102	94	143	117	95	129	1070	107
Walterswil	680	103	117	97	84	98	89	153	126	102	131	1102	110
Dürrenroth	710	110	121	100	91	114	99	151	133	108	135	1162	116
Madiswil/Jöggel	725	110	120	101	91	97	96	149	126	96	144	1140	114
Eriswil	735	93	111	95	93	104	94	134	118	100	123	965	97
Affoltern MZA	796	91	118	100	86	113	96	141	115	93	127	1080	108
Chipferweidli	1010	128	158	121	116	140	120	202	162	134	166	1447	145
Nachbarstationen MZA													
St. Urban	454	92	121	108	101	102	92	154	124	100	137	1131	113
Herzogenbuchsee	464	98	127	100	90	102	79	143	114	86	115	1053	105
Oeschberg/Koppigen	482	88	109	91	77	94	81	133	116	89	122	1000	100
Wasen	755	106	137	120	114	133	116	174	139	119	160	1317	132
Luthern	762	116	145	128	122	137	122	185	161	139	155	1409	141
Riedbad	913	171	205	166	180	171	162	228	218	183	210	1893	189
Gebiets-Mittel (errechnet aus Niederschlagskarte)		107	129	102	92	109	97	153	129	104	136	1158	115

Das Trockenjahr 1962 ist vor allem durch seine minimalen Niederschlagssummen im obern Talteil gekennzeichnet (Huttwil = 87 cm, Walterswil = 84 cm, Langenthal 87 cm), währenddem der tiefere Teil für 1964 Minima ergibt (Langenthal 81 cm, Huttwil 94 cm).

Deutlich erkennbar sind auch in den nassen Jahren vorwiegend die Niederschläge der höher gelegenen Gebiete akzentuiert (Fig. 15). So erhellt, dass weitgehend überhaupt die Niederschlagsmenge des Oberlaufs für das Gebiet den Ausschlag gibt. Denn es kommt zu den grössern dortigen Schwankungen die ausgedehnte Gebietsfläche hinzu. Von den 11 Stationen des Langetegebiets in Tab. 3 (ohne Langenthal/Pluviograph) registrierten für 1959–1968 bezeichnenderweise bloss zwei Orte Werte über dem Gebietsmittel, erheblich darüber aber stand einzig der höchstgelegene Totalisator Chipferweidli/

Ahorn, dessen Niederschlagsmittel dasjenige der obersten Teile des Einzugsgebietes repräsentiert, die von bestimmender Bedeutung für die Summe des Gebietsniederschlags sind.

Tab. 4: Gebietsniederschlag N_G (aus Niederschlagskarten) und Stationsniederschlag N_S (von 6 benachbarten MZA-Stationen) 1960–68. Werte in cm. – N_S : Affoltern i. E., Wasen i. E., Luthern LU, Oeschberg/Koppigen, Herzogenbuchsee und St. Urban LU; arithmetisches Mittel der 6 Stationswerte in Kolonne N_S .

Jahr	N_G	N_S	$N_S - N_G$
1960	129	126	-3
1961	102	108	+6
1962	92	98	+6
1963	109	114	+5
1964	97	98	+1
1965	153	155	+2
1966	129	128	-1
1967	104	104	0
1968	136	136	0
M 1960–68	116.8	118.6	+1.8

Die wichtigsten Ergebnisse aus dem messmethodischen Versuchsfeld Langenthal/Hard (470 m), Abb. 24, über Vergleichbarkeit verschiedener Messgeräte, besonders ihrer Abhängigkeit von der Aufstellungshöhe über Terrainoberfläche wegen, lauten: Der Monatstotalisator in Normhöhe MZA (Eintrittsöffnung 1.5 m über Boden) fing für 1969–73 einen mittleren jährlichen Niederschlag von 974 mm auf, der Gebirgstotalisator (3 m über Boden) 935 mm. In diesem wurden also bei 4% weniger an Niederschlag gemessen.

Deutlicher fällt der Vergleich aus bei den Stationen in grösserem Abstände vom Boden, wo sich, neben gewissen Unsicherheiten über Verdunstung aus den Geräten (SEVRUK, 1973), vor allem der Windeinfluss geltend machen dürfte: Mit denselben Monatstotalisatoren wurde in 21 m über Boden 9% weni-

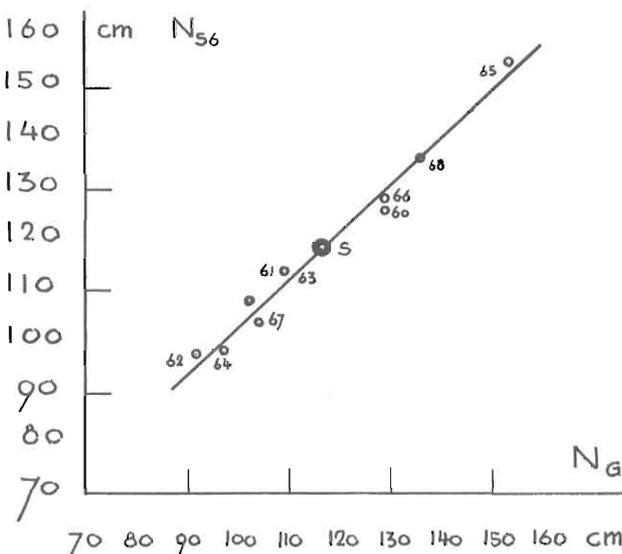
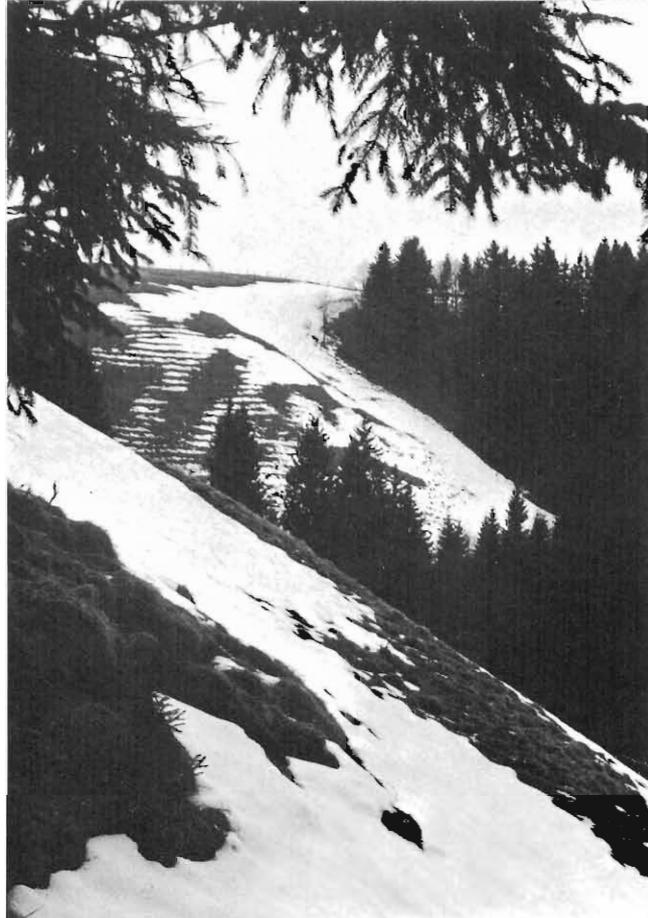


Fig. 14 Langete 1960–68. Stations-Niederschlag N_S in Abhängigkeit von Gebiets-Niederschlag N_G (aus Niederschlagskarten des Langetegebiets). Stations-Niederschlag errechnet aus arithmetischem Mittel der Jahressummen von Affoltern i. E., Wasen, Luthern, Oeschberg-Koppigen, Herzogenbuchsee und St. Urban (6 benachbarte MZA-Stationen). Werte siehe Tab. 4. $N_S = 0.920 N_G + 11.060$ (cm); $r = 0.99$



10 11



Abb. 10 Geisshofgraben im Einzugsgebiet des östlichen Quellarms der Langete. Aufn. Verfasser 1974

Abb. 11 Chipferweidli, Ahorn. Gewichtsbestimmung der Schneeschichten. Aufn. Verfasser 1965

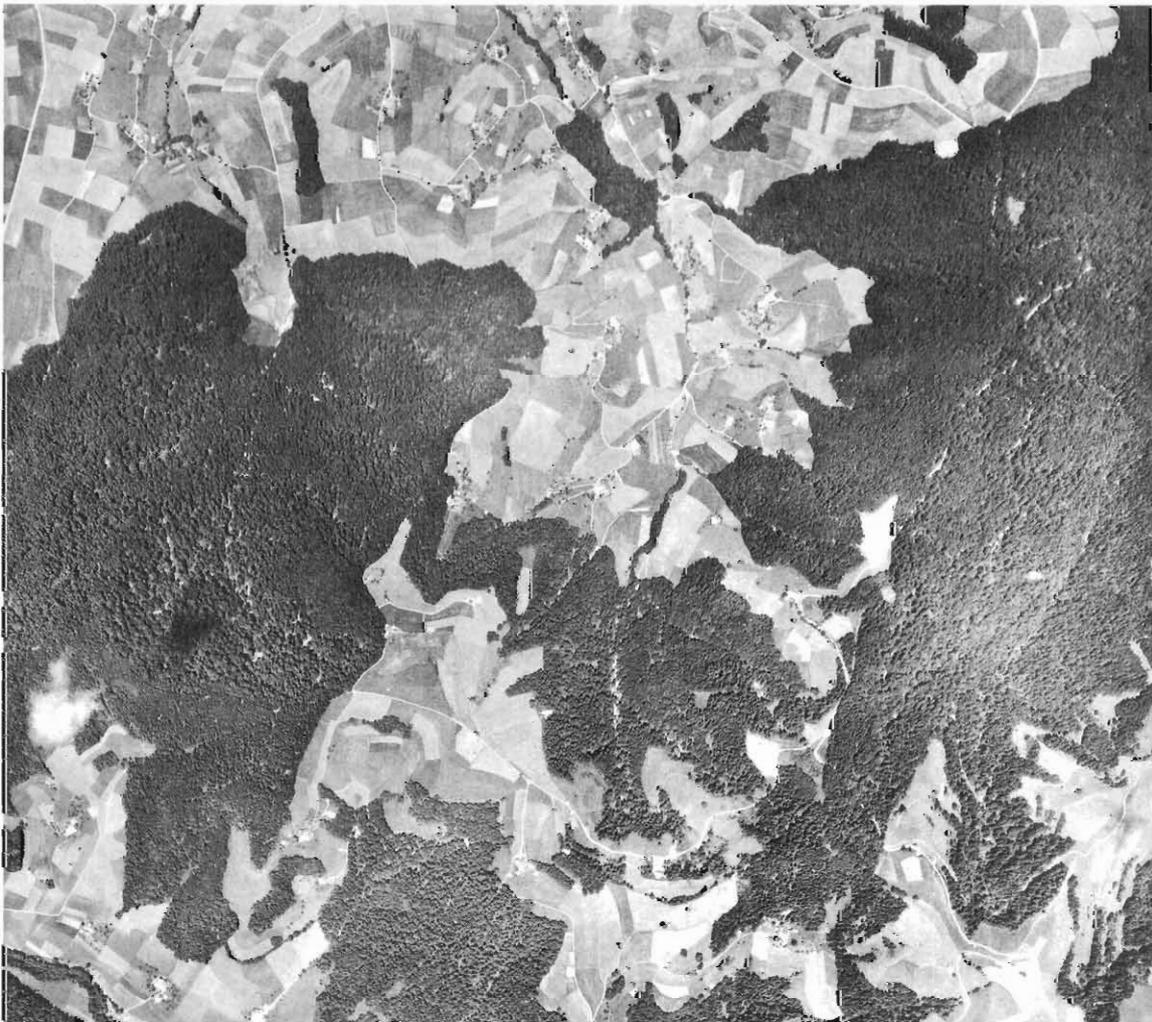
Abb. 12 Oberes Langetegebiet. Blick vom Schiltgrat über das nördliche Napfbergland; im Mittelgrund rechts Huttwil. Aufn. Verfasser 1967

12





Abb. 13/14 Eriswil-Ahorn, Quellgebiet der Langete im Flugbild, nordorientiert. Oben das entwaldete Konfluenzgebiet von Eriswil (letzteres in Bildmitte links). Unten die Waldregion des Ahorngrates, Wasserscheide gegenüber Luthern im E und Grüne im S. Aufn. 13. 7. 1970. Repr. mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 11. 6. 1974



3.2. Schneewasserwerte zur Messkorrektur

In den Wintermonaten 1961–68 wurden systematisch Mächtigkeiten, Profile und Wasserwerte der jeweiligen Schneedecke aufgenommen (Abb. 11). Dabei stand die Ermittlung von Korrekturwerten zu dem im Totalisator erfassten Schnee-Niederschlag im Vordergrund. Da aus unsern alpinen Untersuchungsgebieten vor allem Minderwerte durch Windverwehung bekannt waren, nahmen wir solche, besonders für die höher gelegenen Stationen, ebenfalls an.

Nach Beginn des Schneefalls färbten wir jeweils die Schneeoberfläche eines in der unmittelbaren Nähe der Mess-Station gelegenen Feldes von einigen m² Fläche ein; gleichzeitig wurde der Totalisator abgestochen. Nach einer gewissen Zeit mit Schneezuwachs, zumeist nach einem Monat (Monats-Abstich-Termine), jedenfalls vor stärkerem Tauwetter, erfolgte der erneute Abstich und die Schneemessung: Wie wir früher (BINGGELI, 1961 S. 85/86) beschrieben, legten wir ein Schneeprofil bloss und bestimmten gewichtsmässig den Wasserwert der einzelnen, faziell verschiedenartigen Schneesichten bis zur Farbmarke. Den effektiven Wasserwert stellten wir jedoch auf die aus Messreihen der Umgebung bestimmten mittleren Höhe der Schneedecke ab (so betrug diese im Falle der Fig. 16 = 120 cm, während im Profil bloss 87 cm anstanden). Hernach konnte der Wasserwert verglichen werden mit dem Totalisator-Wert.

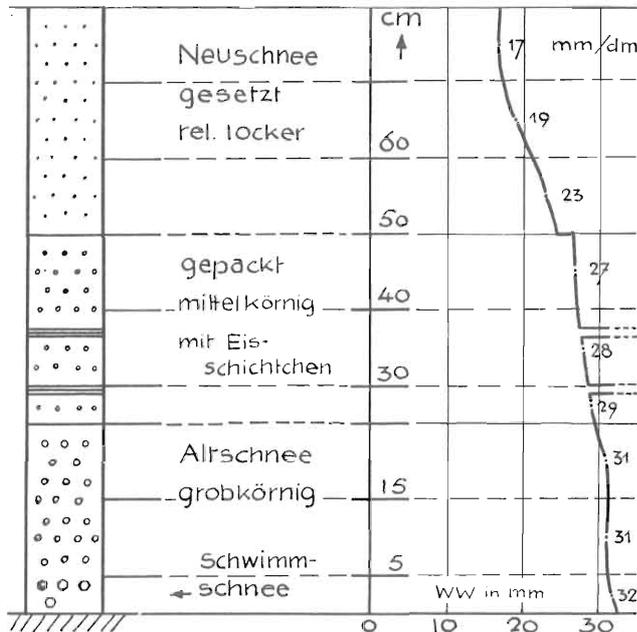


Fig. 16 Chipferweidli, Ahorn 1. 2. 1968. Schneeprofil und Wasserwert der Schneesichten in mm Wassersäule (pro 100 mm Schneehöhe)

Wie das Beispiel in Fig. 16 zeigt, das überdies Profil und Wasserwerts-Kurve in typischer Weise veranschaulicht, trifft unsere Annahme von Verwehungs-Minderwerten zu. Wohl fanden wir auch gegenteilige Aussagen; sie waren jedoch zumeist auf Tauperioden zurückzuführen. Dagegen aber wurden winterweise stets Zahlen erhoben, wo der Wasserwert des Schnees den Totalisatoren-Wert erheblich überstieg, bis fast zum Zweifachen, d. h., es fehlten im Totalisator 47% des durch die Schneemessung ermittelten Niederschlags.

Fernerhin nutzbar für Schätzungsangaben sind die aus zahlreichen Profilen hervorgegangenen Mittel der Schnee-Dichte:

Neuschnee (trocken, pulverig)	18%
Mittlerer Altschnee (feinkörnig)	25%
Altschnee (grobkörnig)	35%

Aus 15 Messungen der Jahre 1961–68 resultierte ein Verhältnis
Totalisatorwert: Wasserwert Schnee = 15 cm : 19 cm

Mit andern Worten ergab sich ein durchschnittlicher Minderertrag im Messgefäß von 21% des Schnee-Niederschlags.

Eine Kartierung der Schneehöhen gibt die Verhältnisse zu Ende unserer Untersuchungsperiode wieder: Über das ganze Gebiet der Langete verteilt unternahmen wir am 31. 12. 1968 Reihenabstiche zur Bestimmung der mittleren Schneehöhe möglichst repräsentativer Lokalitäten. Zweck war die Kenntnis des Ende Kalenderjahr 1968 im Schnee gespeicherten Wasserwerts (Aufstellung der hydrologischen Bilanz): Begann doch unsere Untersuchungs-Jahresreihe ohne nennenswerte Schneelagen, während diejenigen von 1968 erst 1969 zum Abfluss gelangten. Der aus der Karte ermittelte Schneewasserwert für das ganze Einzugsgebiet der Langete entspricht immerhin einer Abflussmasse von 3.4 Mio m³ (Abflusshöhe = 3 cm) oder 4% des Jahresabflusses 1968.

3.3. Zur Herkunft der Niederschläge

Es stellte sich die allgemein interessierende Frage, welche Winde uns den Niederschlag bringen. Im Vorliegenden werden versuchsweise für das Jahr 1963 die Langenthaler Werte der Windverteilung und die zugehörigen Einzelsummen des Niederschlags (141) ausgewertet. Die Untersuchung lieferte gutteils, was erwartet und angenommen werden konnte. Es ging uns aber um die *quantitative* Ermittlung der auf die einzelnen Zeiten der 8 Windrichtungen entfallenden Niederschlagsmengen und Niederschlagstage (gerundete Resultate in Tabelle 5) und um deren graphischen Vergleich (Fig. 17–19).

Der Studie liegt eine detaillierte Ausmittlung der aufeinanderfolgenden Windrichtungs-Stunden und der in diesen Zeiten gefallenen Niederschläge zugrunde (Wind: Station ARA, Langenthal; Niederschlag: Pluviograph Wetterstation Langenthal). Die Zuteilung der Niederschlagstage auf die Windrichtungen erfolgte gemäss der dominierenden Windrichtung des einzelnen Tags.

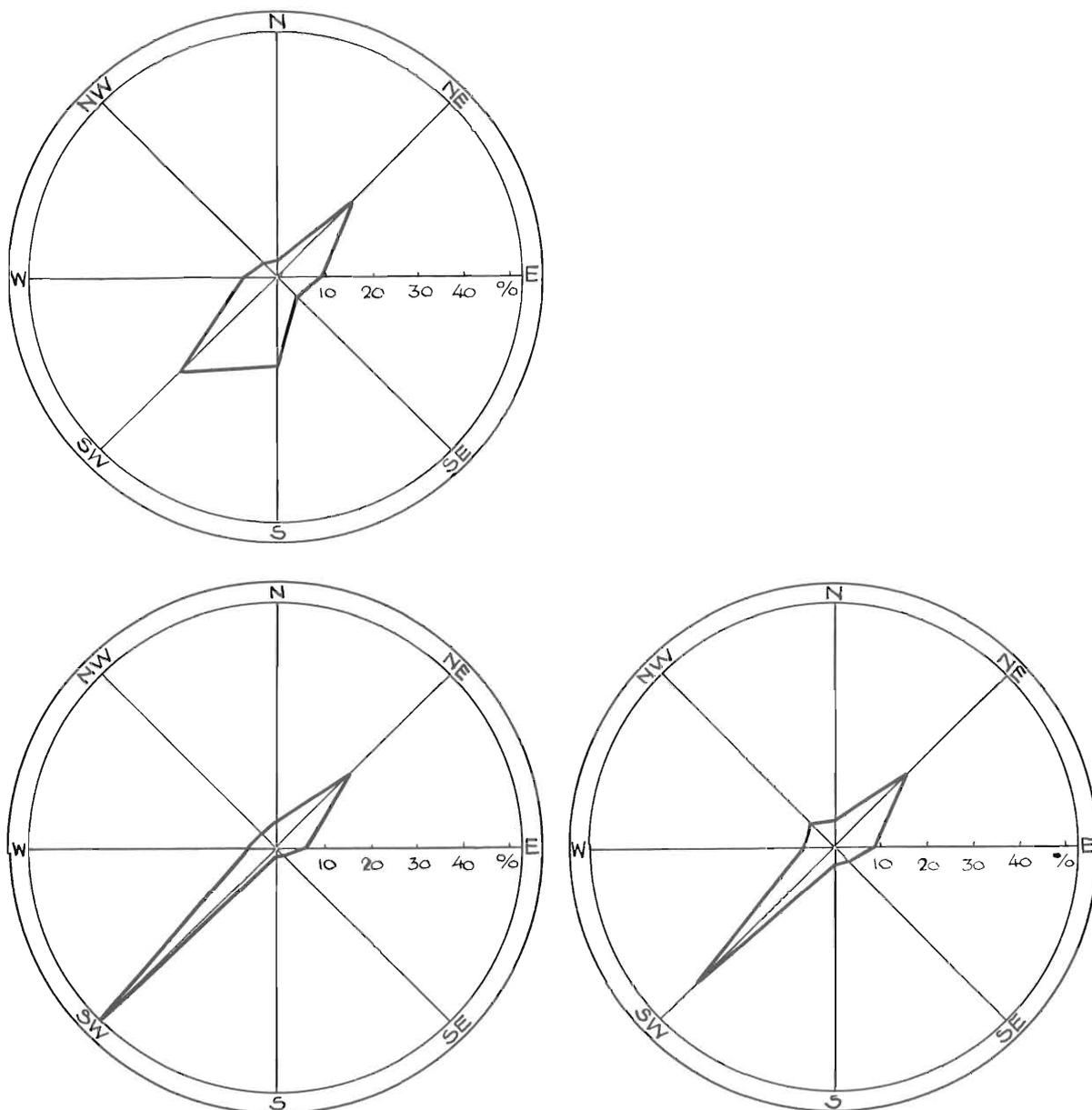


Fig. 17–19 Langenthal. Windverteilung und zugehörige Niederschlagsmengen und Niederschlagstage (diese sind der Hauptwindrichtung des Tages zugeordnet)

Es zeigt sich, dass über die Hälfte der Niederschlagsmengen als Zubringer den «Wätterluft» aufweist (SW-Wind). SW stellt auch, wie es die Mittel sowohl von Langenthal wie Oeschberg-Koppigen MZA (Fig. 11) belegen, die Hauptwindrichtung unserer Gegend dar. Allerdings folgt mit wenig geringerem Prozentanteil der Richtungen die Bise (NE), die jedoch bloss einen guten Fünftel des gesamten Niederschlags einbringt.

Auffallend ist das Ergebnis des Föhns, dessen 19% Windrichtungsanteil sozusagen keinen Niederschlag verursachen. Eine bezeichnende Charakteristik der alpinen Trockenströmung! Bei der untergeordneten Aarbise N–NW vermag man dagegen in unserer relativ alpenfernen Zone noch kaum die Wirkung der Staulage zu bemerken, jedenfalls sind die entsprechenden Luvniederschläge nicht derart ergiebig.

Was die in letzter Kolonne der untenstehenden Tabelle 5 aufgeführten Niederschlagstage betrifft, stehen sie einigermaßen parallel zu den Niederschlagsmengen. Deutlich werden aber doch die beiden Sachverhalte: Der Prozentsatz an Niederschlagstagen des dominierenden Wätterlufts steht etwas tiefer als derjenige des Niederschlagsanteils, die Regentage bei SW-Wind sind also niederschlagsreicher als die bei andern Windrichtungen, insbesondere als die bei Föhn.

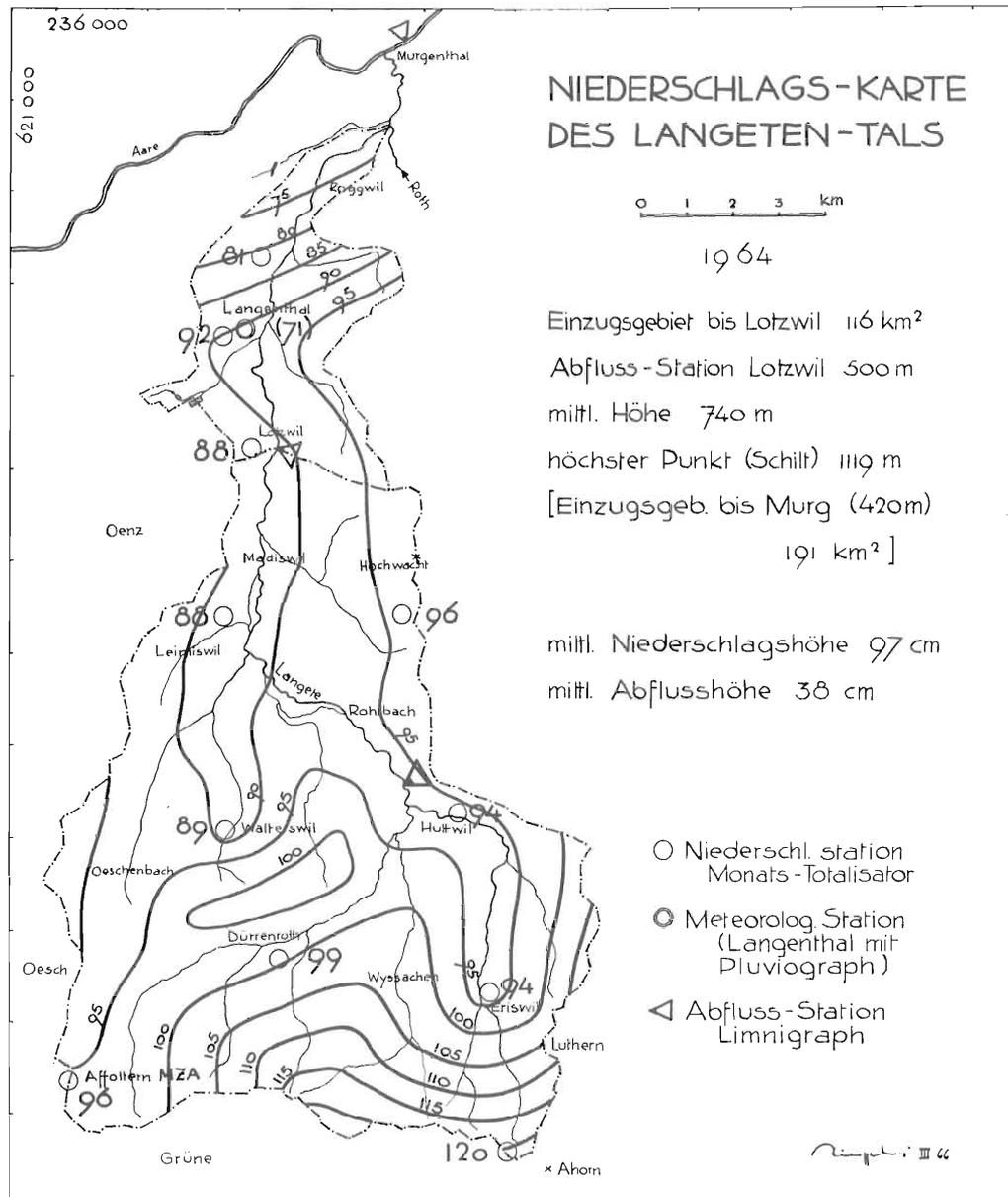
Tab. 5: Langenthal 1963. Wetterstationen ARA (Wind) und Sekundarschule (Niederschlag). Zubringer-Winde des Niederschlags

Wind	Wind- richtung	Wind- verteilung Dauer in %	Nieder- schlag mm	Nieder- schlag %	N-Tage Anzahl	N-Tage %
Wätterluft	W	7	44	6	8	7
	SW	28	390	53	47	42
Föhn	S	19	7	1	3	3
	SE	6	17	2.5	4	4
Bise	E	9	39	5.5	10	9
	NE	23	59	21.5	25	22
Aarbise	N	4	44	6	6	6
	NW	4	32	4.5	7	7

3.4. Regionale Niederschlagsverteilung

Einen Überblick über die Niederschlagsverhältnisse des zentralen Mittellandes zwischen Napf und Jura bieten die Niederschlagskarten (Fig. 1 und 22). Aus den Räumen Roth, Oenz und Bipperamt/Jura können künftig weitere Werte erwartet werden, da im Rahmen des kantonalen hydrologischen Untersuchungsprogramms durch das Geographische Institut der Universität Bern unter Leitung von Prof. Dr. F. GYGAX auch Niederschlags-Messungen (durch CHR. LEIBUNDGUT) durchgeführt werden.

In die Karte Fig. 1, die ohne Schwierigkeit in den Hauptzügen mit der Darstellung der UTTINGERschen Niederschlagskarte MZA (1949) in Einklang gebracht werden konnte, zieht im tiefen Oberaargau der östliche Ausläufer der trockenen Seeland-Region. Seine Richtung liegt im Streichen SW-NE, natürlicherweise entsprechend demjenigen von Mittelland und Jura. Der letztere spiegelt sich in den gescharten Isohyeten des Kartennordrandes, worüber wir heute noch zu wenige Niederschlagsdaten und -details verfügen.



Südlich des Seeland-Ausläufers verlaufen im wesentlichen die Isohyeten entlang der «Molassehügel-Grenze» (BINGGELI, 1962), d. h. dem Anstieg aus dem tiefen glazialen Mittelland zum höheren der Molasse-Plateaux. Der Grenzstreifen liegt grob zwischen der Überlandstrasse Zürich–Bern (hier: Langenthal–Kirchberg) und der Eisenbahnlinie Olten–Bern (hier im Trockental Wynigen–Herzogenbuchsee).

Die Niederschlagskarte Langete 1959–68 (Fig. 22) lässt erkennen, dass durch das eben Gesagte, wie auch infolge des quer zur Hauptwindrichtung SW–NE gelegenen Langetentals, in dessen mittlerem Teil (Langenthal–Rohrbach) die Isohyeten des Niederschlags in Talrichtung laufen: Es wirkt sich eine leichte Lee-Luv-Anlage aus; der westliche Talhang erhält geringere Regenmengen als die rechte Talflanke, was ebenso im Niederschlagsprofil Fig. 24 zum Ausdruck kommt.

Napfwärts geht diese Erscheinung durch die wirksamere Relieffierung verloren. Dort bildet sich deutlich das Mittelgebirgsmassiv in seinem NW-Sektor ab. Dabei fällt einerseits die schwer definierbare tiefe Zahl von Affoltern auf, zum andern die Trockeninsel Huttwil–Eriswil. Schon die MZA-Karte 1901–40

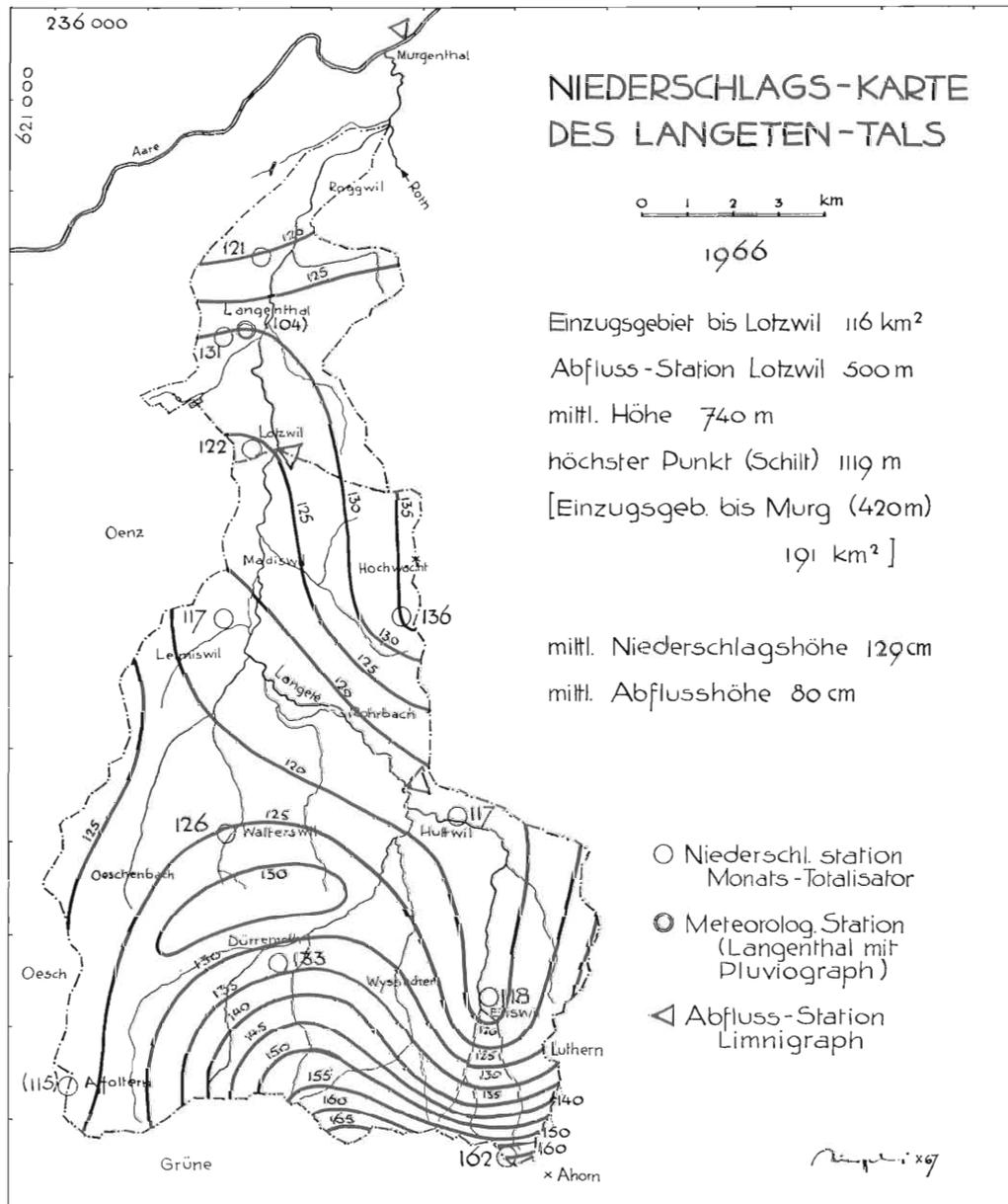


Fig. 21 Niederschlagshöhen des abflussreichsten Jahres unsrer Messperiode 1959–68 (in cm)

(UTTINGER, 1949) enthält eine solche Insel um Huttwil. Wir können nachweisen, dass sich diese in Richtung Eriswil *weiter erstreckt* und noch *verstärkt*.

Wir führen die Erscheinung auf Regenschatten-Wirkung auf der Hinterseite, der Leeseite, des Napfmassivs zurück. Die Trockeninsel ist ebenfalls aus Niederschlagsprofil Fig. 23 herauszulesen. Die der Hauptwindrichtung SW (Wätterluft) zugekehrte südwestliche und südliche Napfflanke liegt im Luv des Hauptwindes, also im Bereich der Stau- und Steigungsregen, und empfängt allgemein deutlich grössere Niederschläge. Auf diese Niederschlagsunterschiede gehen nach der Etymologie des Volksmundes die Ortsnamen Trub (trüeb!) und Luthern (luter!) zurück. Allerdings erhält die Gegend von Luthern, wie die Mehrzahl der napfinternen Orte, relativ hohe Niederschlagsmengen. (Fig. 25, 26).

Der *Höhenstufung* des Niederschlags gelten Fig. 27, 28, woraus sich mit dem Anstieg um etwas über 500 m zwischen Langenthal und Ahorn/Napf eine Niederschlags-Differenz von fast 500 mm (pro Jahrmittel 1959–68) ergibt: Es resultiert ein *Niederschlags-Gradient* von 100 mm (mit 100 m Höhendifferenz steigt oder fällt der Jahresniederschlag um 100 mm).

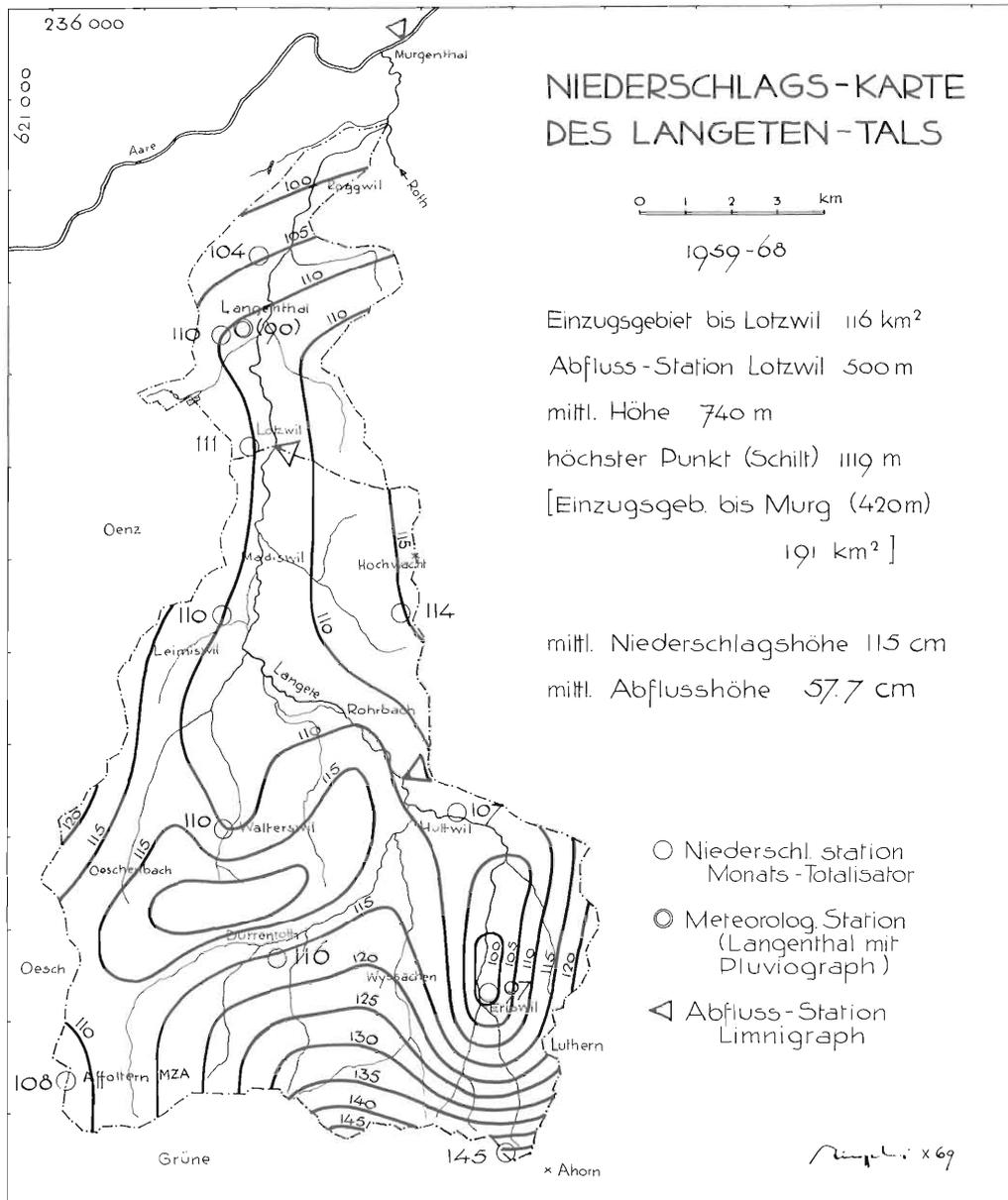


Fig. 22 Mittlere jährliche Niederschlagshöhen (in cm) 1959–68

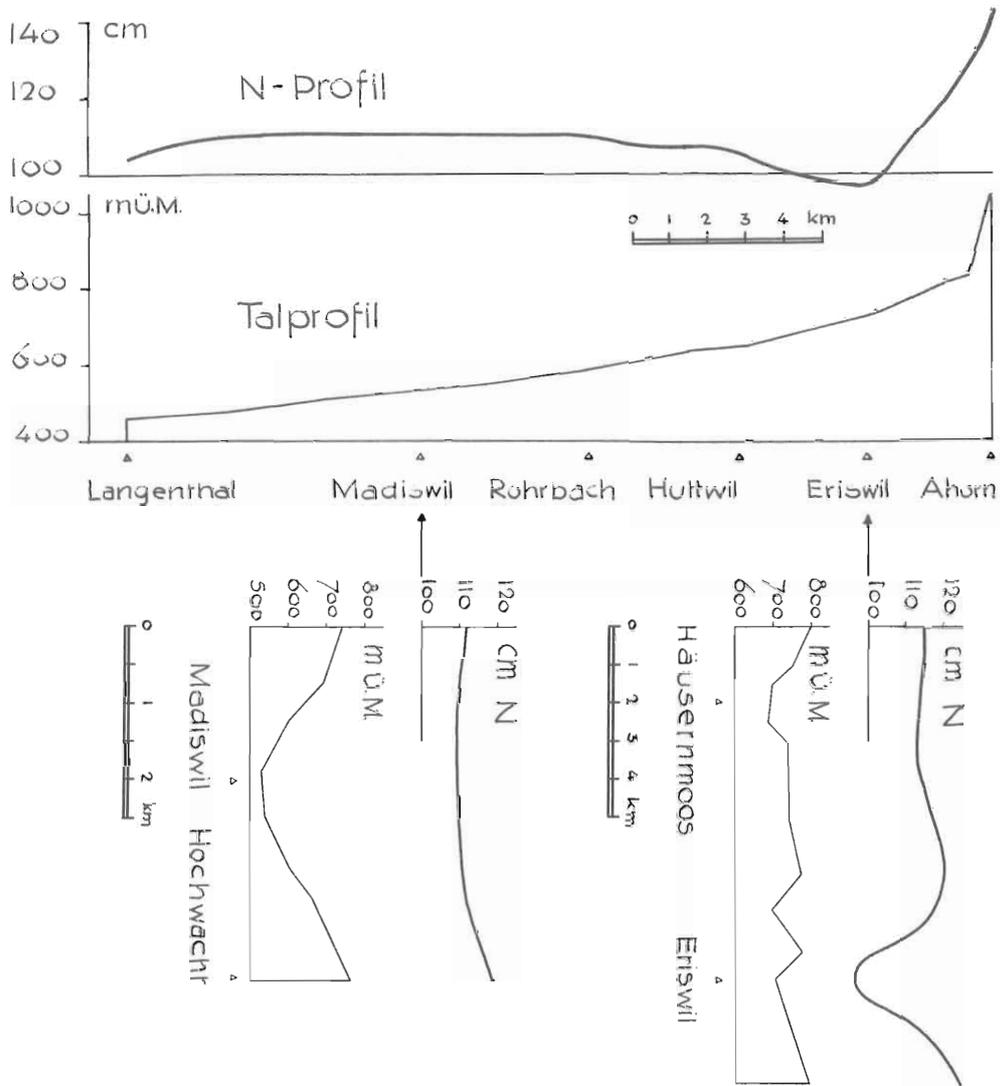


Fig. 23-25 Langete 1959-68. Mittlere jährliche Niederschlagshöhen N in Längs- und Querprofilen

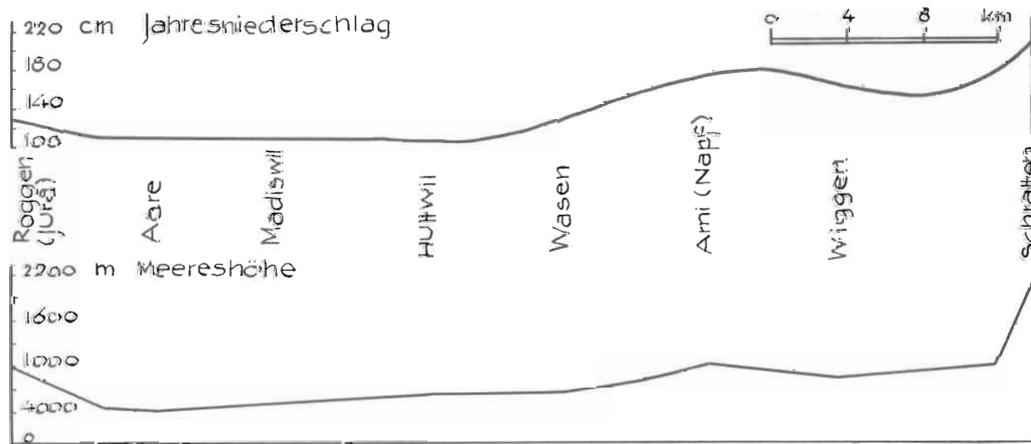


Fig. 26 Mittlere jährliche Niederschlagshöhen 1901-40. Querprofil durch das zentrale Mittelland



Abb. 15 Blick aus Westen über die Unterlaufgebiete von Oenz, Langete und Roth, glazial-fluvioglaziales Moränen- und Schottergebiet des tiefern Mittellandes. Vorn links die Mündung der Oenz in die Aare, in der Bildmitte Langenthal. Mittelgraue Flächen: Wässermatten. Flugaufn. Abt. Flugwesen Dübendorf vom 19. 3. 1957.

Abb. 16 Meteorologische Station Oeschberg-Koppigen MZA, zwischen Langete- und Emmegebiet. Benachbarte Vergleichs- und Bezugsstation. Von rechts nach links Geräte zur Messung von Niederschlag, Strahlung, Verdunstung, Temperatur und Luftverschmutzung. Aufn. Verfasser 1974

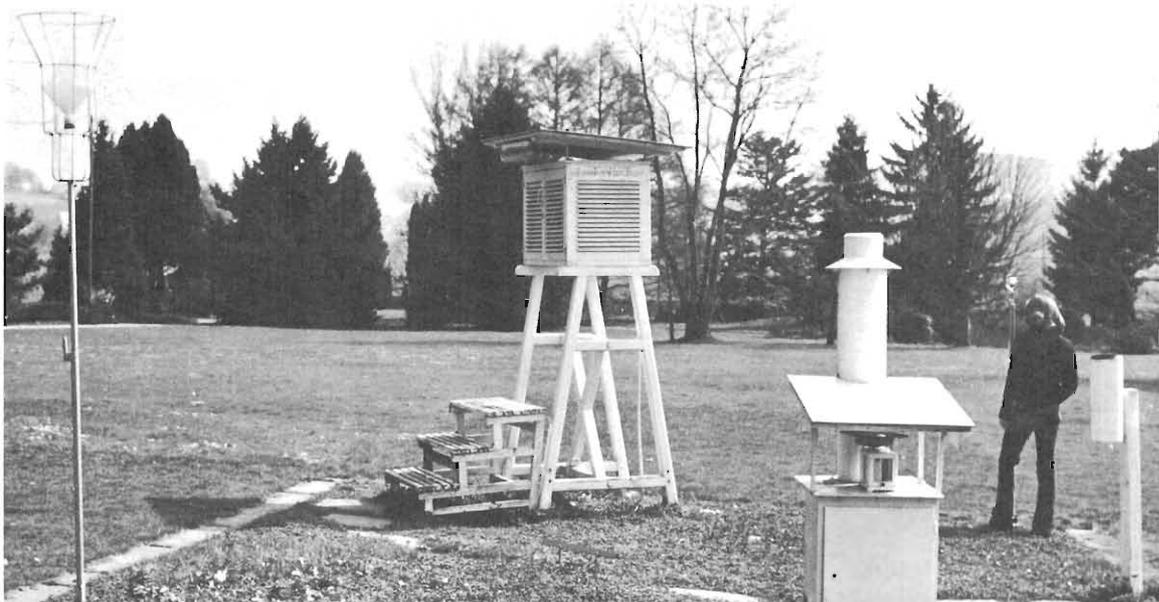
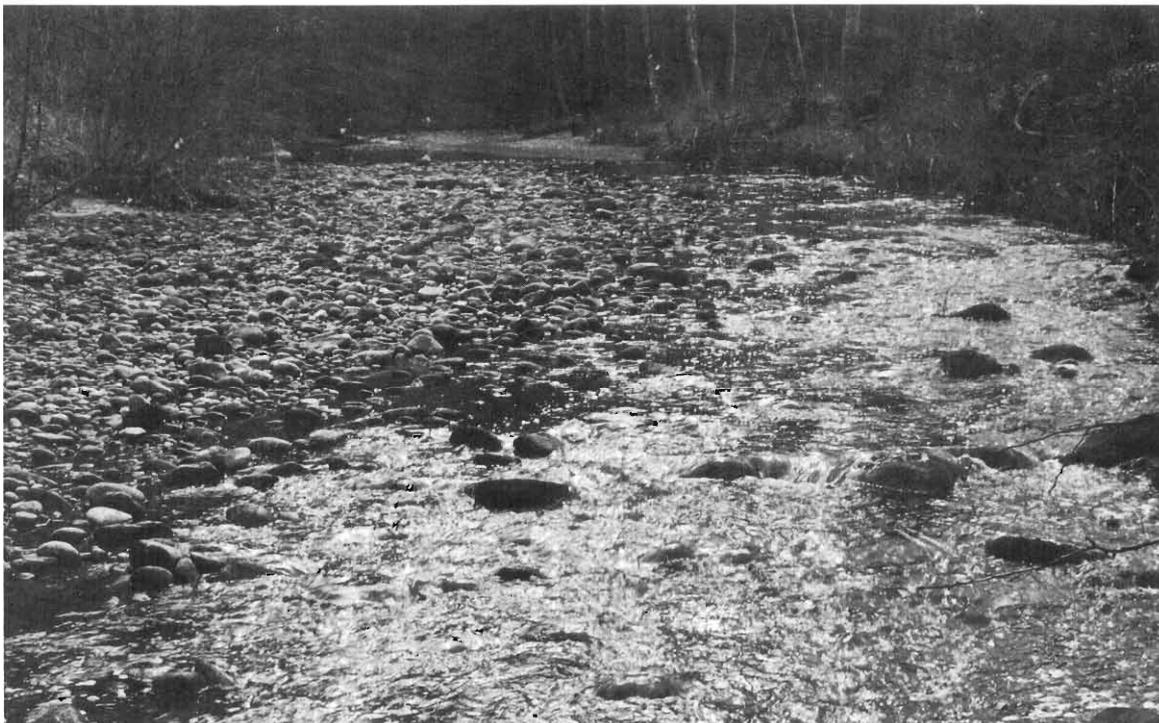




Abb. 17 Langete bei Kleindietwil im Mittellaufabschnitt. Sohlerental im Plateauhügelland. Aufn. Verfasser 1965

Abb. 18 Murg zwischen Walliswil und Murgenthal, nach dem Zusammenfluss von Langete und Roth. Niederwasserführung und Hochwasser-Geröllbett. Aufn. Verfasser 1974



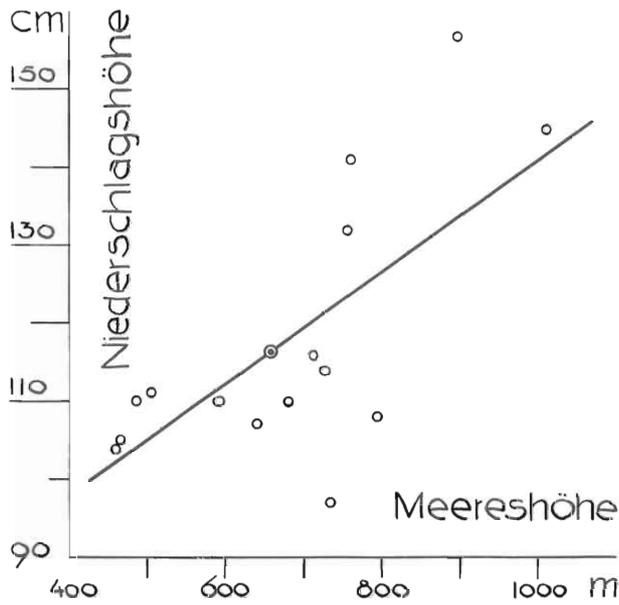


Fig. 27 Langete 1959–68. Mittlerer jährlicher Stationsniederschlag in Funktion der Meereshöhe. $N = 0.07 M + 69.53$ ($r = 0.70$). Die grosse Streuung ist durch den Einfluss des Reliefs bedingt.

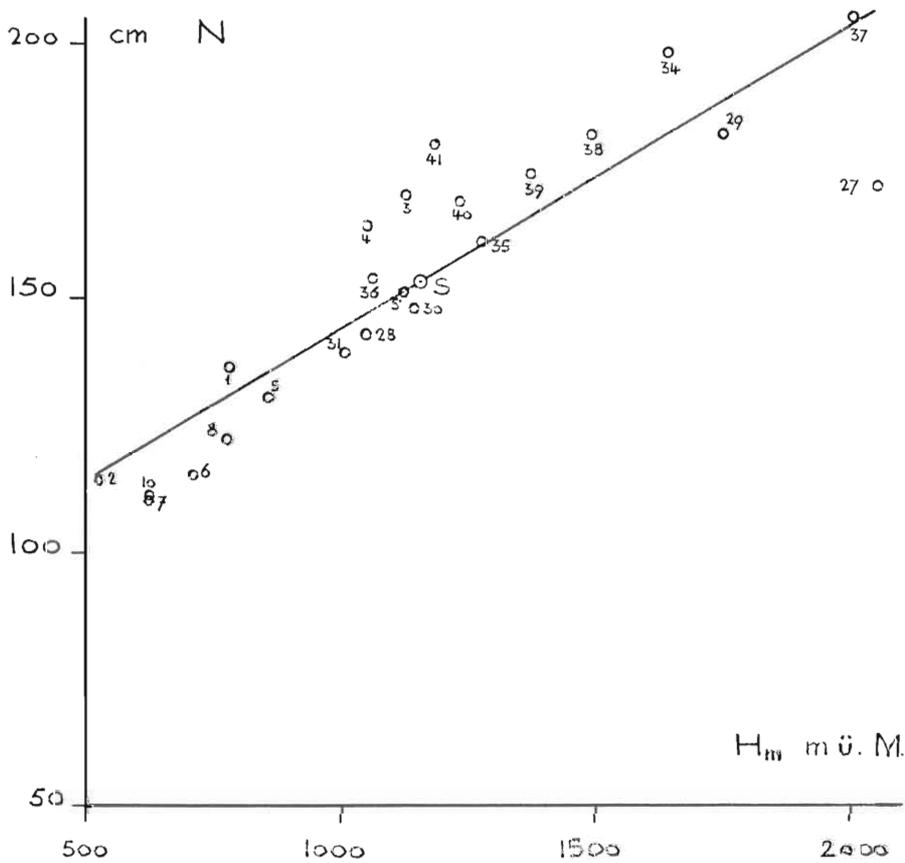


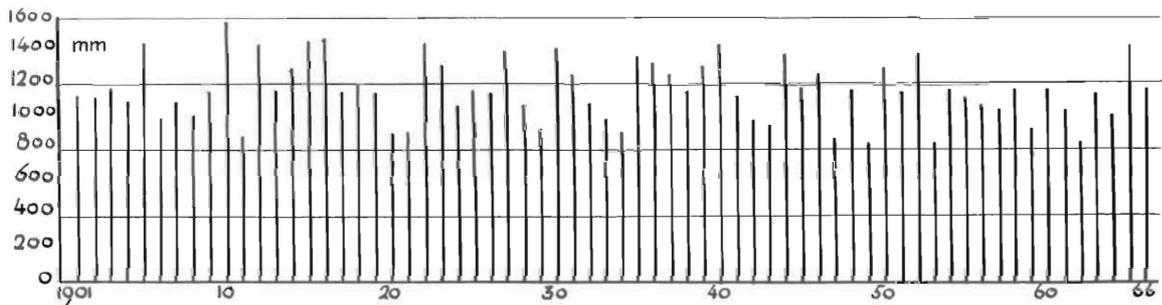
Fig. 28 Mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag N in Funktion der mittleren Gebietshöhe H_m für 23 schweizerische Flussgebiete der Alpennordseite gemäss Tab. 1. $N = 0.0594 H_m + 84.81$; $r = 0.89$. Im Gegensatz zur obenstehenden Beziehung lassen Gebietsniederschläge eine brauchbare Regression zu

3.5. Zeitliche Niederschlagsverteilung

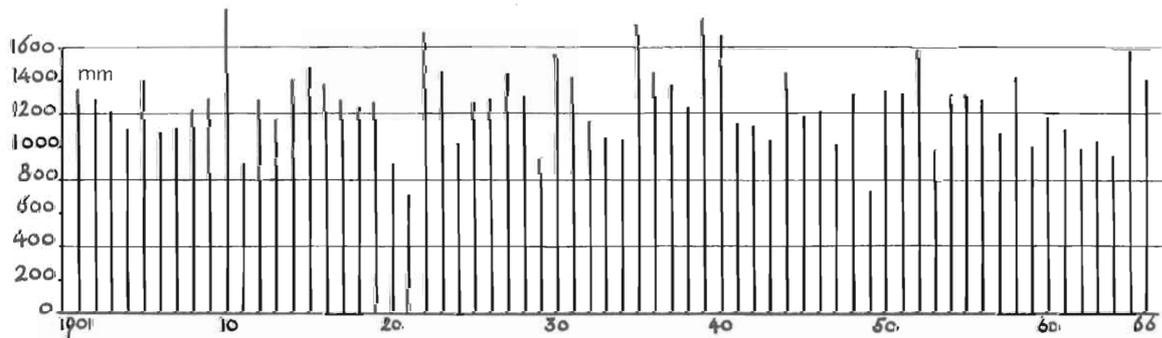
3.5.1. Jahres- und Monatsniederschläge

Die säkularen Reihen der Jahresniederschläge in Fig. 29–31 basieren auf der MZA-Klimatologie (UTTINGER, 1964). Die Sukzession ist von Schwankungen wie mittleren Quantitäten aus durchwegs recht regelmässig wellenförmig.

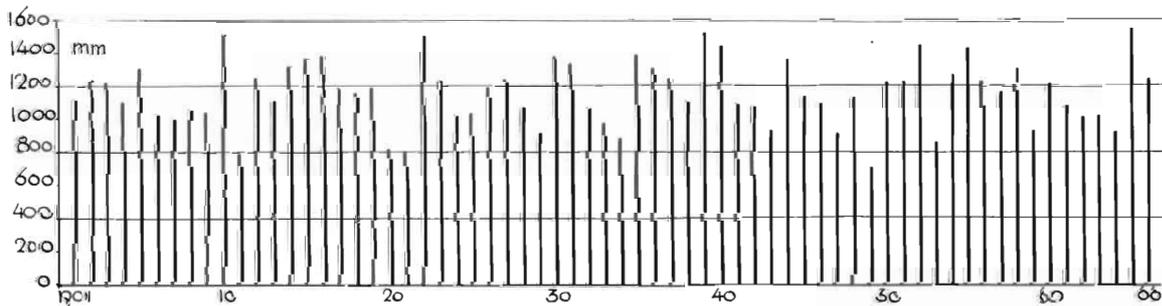
In Fig. 58 finden wir unsere Periode 1959–68 ganz dargestellt: Das Bild passt ohne weiteres ins gesamte der 4½ Jahrzehnte, weder Maxima noch Minima fallen aus dem Rahmen. Unser Jahrzehnt darf vom Niederschlag aus als repräsentativ für das allgemeine klimatisch-hydrologische Geschehen des zentralen Mittellandes gewertet werden.



Affoltern i.E.



Solothurn



St. Urban

Fig. 29–31 Jährliche Niederschlagshöhen von 1901–1966 für Stationen des zentralen Alpenvorlandes

Nach Tab. 3 liegt in unserer Untersuchungsperiode 1965 mit 153 cm Gebietsniederschlag als weitaus niederschlagsreichstes Jahr (Fig. 15). Trockenjahr ist 1962: 92 cm. Maximale relative Schwankungsdifferenz der Jahresniederschläge für das ganze Gebiet: 67%; d. h., im nassesten Jahr fielen $\frac{2}{3}$ mehr Niederschlag als im Trockenjahr. Die extremen Schwankungswerte einzelner Stationen innerhalb Gebiet und Periode: 1965 Chipferweidli/Ahorn = 202 cm; 1964 Hard/Langenthal = 81 cm. Das weit-aus grösste Gefälle der Jahresniederschläge bestand in der Tat zwischen 1964 und 1965. (Das letztere Jahr wurde früher speziell dargestellt: BINGGELI, 1968.)

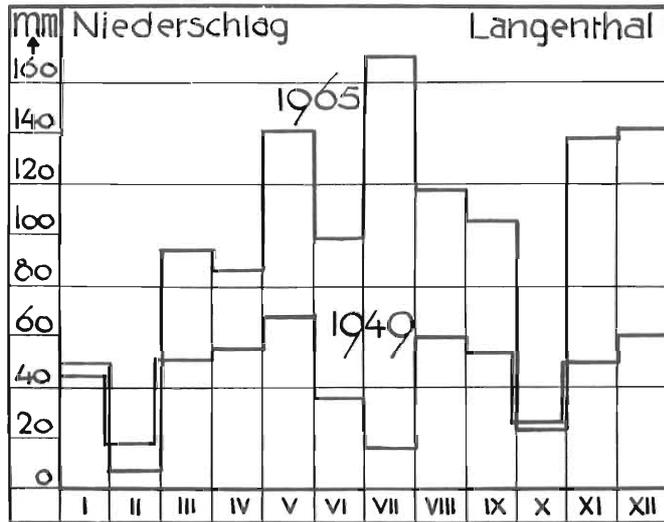


Fig. 32 Monatliche Niederschlagshöhen zweier extremer Jahre

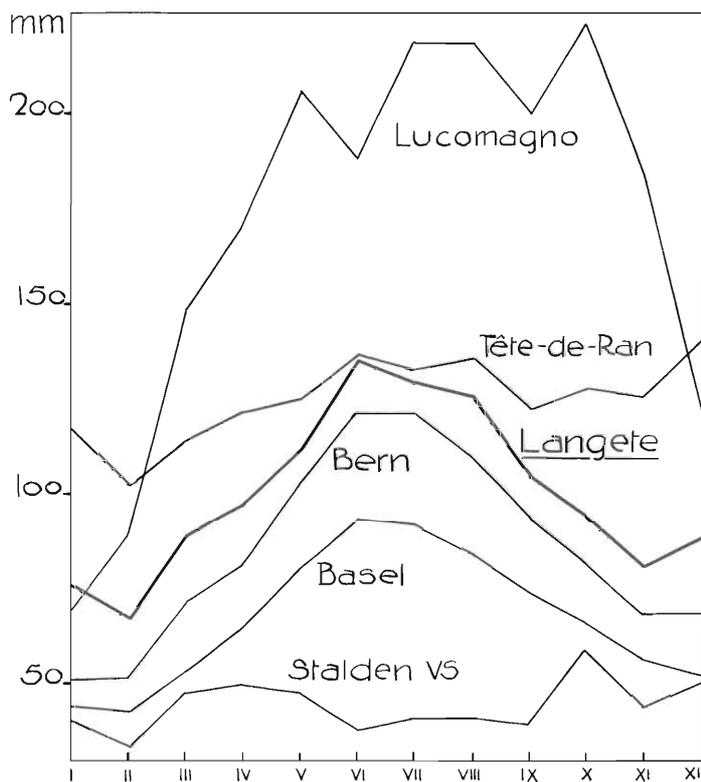


Fig. 33 Vergleich der mittlern monatlichen Niederschlagshöhen 1901-40. Langete: Arithmetisches Mittel der Werte von Affoltern i. E. und St. Urban

Entsprechend entsteht das grösste räumliche Gefälle zwischen der Trockeninsel Huttwil–Eriswil und dem Napfgrat des Ahorns (Fig. 23, 25). Um die Unterschiede der Jahresniederschläge einzelner Stationen mit Bezug Nass-/Trockenjahr aufzuzeigen, wählten wir je die 2 extremsten Jahre (Gebietsmittel) und Stationswerte. Für die nassen 1965 und 1968 ergibt die Differenz zwischen den Stationen 33 cm, für die trockenen 1962 und 1964 = 23 cm. Die Akzente der Jahresschwankung einzelner Orte sind demnach im nassen Jahr grösser, was auch für die südalpine Magliasina (GYGAX, 1948) und das zentralalpine Lukmaniergebiet (BINGGELI, 1961) gefunden wurde.

Die mittleren Monatsniederschläge für unsere Periode 1959–68 enthält Fig. 62, worin Februar und Oktober als die Trockenmonate auffallen, während der August als Maximalmonat deutlich über dem Juli thront. (Fig. 32 zeigt die 2 Extremjahre des bisherigen Jahrhundertteils.) Entgegen unserer Periode aber erweist sich gemäss Fig. 33 in jener der MZA, 1901–40, der Juni als niederschlagsreichster, der Februar aber ebenfalls als trockenster Monat.

Die Verteilung auf die Jahreszeiten geschieht wie folgt: Im Durchschnitt unserer 10 Jahre fallen im Sommer (IV–IX) vom Jahresniederschlag 57%; der Winterniederschlag ist also um 14% (des Jahresniederschlags) niedriger.

Der mittlere Anteil an festem Niederschlag ist in tieferen Lagen klein, für Langenthal (Mittel: Hard/Brunnenrain; Wasserwert = 60 mm) beträgt er nur 6% des Jahresniederschlags, für die höchstgelegene Station Chipferweidli macht der Schneewasserwert (350 mm) jedoch 24% aus.

3.5.2. Niederschlagshäufigkeit

Unser Besprechung liegt das Studium von rund 1000 Niederschlagstagen der Jahre 1961–68 zugrunde.

Tab. 6: Langenthal 1961–68. Niederschlagshäufigkeit (Niederschlagstage pro Monat). Niederschlagstag: Niederschlagshöhe/Tag ≥ 1 mm

Jahr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Summe	Mittel
61	9	9	6	15	13	9	10	9	3	7	3	15	108	9.0
62	12	10	9	11	18	5	9	10	9	4	4	15	116	9.6
63	5	6	15	9	9	17	11	15	9	2	14	0	112	9.3
64	4	5	14	11	10	8	5	9	7	10	11	6	100	8.3
65	7	5	9	16	12	13	16	14	14	3	23	20	152	12.6
66	11	14	12	12	15	9	14	13	4	11	10	19	144	12.0
67	18	9	7	9	15	8	7	14	10	7	7	11	122	10.1
68	18	9	10	10	12	7	13	20	17	6	5	10	137	11.4
Summe	84	67	82	93	104	76	85	104	73	50	77	96	991	82.3
Mittel	10.5	8.4	10.2	11.6	13	9.5	10.6	13	9.1	6.3	9.6	12	123.8	10.3

Der Tabelle 6 entnehmen wir, dass die Niederschlagstage mit 3 Spitzen durch die Monate laufen. 1. Der Mai zeigt sich keineswegs als Wonnemonat, den zahlreichen Regentagen steht indessen eine geringe Tagesmenge (Dichte) gegenüber; 2. Zur grossen Zahl der August-Regentage gehören indessen auch relativ hohe Niederschläge, was sich in der hohen Dichte spiegelt. 3. Eine primäre Nebenspitze liegt im Dezember.

Das Minimum an Regentagen liegt im Oktober: Von allgemeinem Interesse mag hier sein, dass also für unsere Gegend der Oktober wettermässig als günstiger Monat, d. h. als solcher mit den meisten regenlosen Tagen, zu bezeichnen ist. Unter den Jahreszeiten kann, im selben Sinne gemeint, als günstigste der Herbst angegeben werden, wo in der Häufigkeitskurve eine deutliche Depression erscheint.

3.5.3. Einzelniederschläge: Ertrag, Dauer und Intensität

Für die 6 Jahre der Beobachtungsperiode 1961–66 wurden ca. 800 einzelne Niederschlagsfälle unter die Lupe genommen. Sehr einseitig gelagert sind nach Tab. 7 die Erträge (Niederschlagshöhen N_h). Über 60% aller Einzelniederschläge haben einen Ertrag < 5 mm Niederschlagshöhe.

Tab. 7: Langenthal 1961–66. Einzel-Niederschläge: Prozentualer Ertrag (mm Niederschlagshöhe pro Einzelniederschlag) N_h .

Anteil	≤ 1	1–4.9	5–9.9	10–19.9	20–29.9	30–39.9	40–50	> 50	Summe
Anzahl	168	343	151	112	29	20	10	0	833
%	20.16	41.16	18.12	13.44	3.48	2.4	1.2	0	100

Ein Vergleich mit dem alpinen Campo Blenio zeigt dort ähnliche Verhältnisse, indessen minder extrem: 45% < 5 mm (WITSCHI, 1957). Isolierte Niederschlagshöhen > 50 mm wurden in der Untersuchungsperiode 1961–66 in Langenthal keine registriert, in Campo Blenio (1948/49–56/57) noch rund 10%; darin sind die typischen Gussregen der Alpensüdseite enthalten. Bei uns sind entsprechende Güsse äusserst selten.

Tab. 8: Langenthal 1961–66. Monatliche Verteilung sehr ergiebiger Einzel-Niederschläge (30–50 mm; Anzahl: 29)

Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Anzahl	2	1	2	0	3	2	6	5	0	3	3	2

Tab. 8 gibt ein Bild der wenigen sehr ertragreichen Niederschläge mit Bezug auf ihr Auftreten im Jahreslauf. Wir erkennen, dass es vor allem um die Gewitterregen des Sommers geht.

Tab. 9: Langenthal 1961–66. Einzelniederschläge, Dauer in min. bzw. Std. (Anzahl in %) N_t

Dauer	min. h												Summe
min./h	5–10	10–20	20–30	30–1	1–2	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–24	> 24	
Anzahl	1	6	1	16	88	121	90	88	58	39	131	41	680
%	0.1	0.9	0.1	2.4	13.0	17.8	13.2	13.0	8.5	5.7	19.3	6.0	100

Der Anteil der Niederschläge, die weniger als eine Stunde dauern, beträgt in Langenthal bloss 3.5% (währenddem bezeichnenderweise im insubrisch beeinflussten Campo Blenio in der entsprechenden kurzen Dauer an ein Viertel aller Niederschläge fallen).

Tab. 10: Langenthal 1961–66. Einzelniederschläge, Intensität (mm/min.) N_i

Intensität	< 0.001	0.001	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	Summe
mm/min.											
Anteil		-0.01	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	
Anzahl	7	304	477	10	6	2	2	0	0	1	779
%	0.90	39.02	57.38	1.28	0.77	0.26	0.26	0	0	0.13	100

Geringe Intensitäten überwiegen in unserer Region. Regenstärken über 0.5 mm/min. treten kaum je auf. Während im insubrisch gefärbten Klima des Tessiner Alpentals die höheren Intensitäten ($N_i > 0.1$ mm/min.) noch 12% ausmachen, sind es in Langenthal bloss 2.5%.

Mitgeteilt seien 3 hohe Intensitäten in Langenthal aus frühern Jahren (Ziffern siehe Fig. 34):

Nr. 1	22. 8. 1947	$N_t = 25$ min.	$N_h = 27$ mm	$N_i = 1.1$ mm/min.
Nr. 2	11. 7. 1941	60 min.	39 mm	0.7
Nr. 3	11. 7. 1941	280 min.	49 mm	0.2

Als Vergleich dazu seien einige weitere N_i -Intensitäten aufgeführt: Luzern (stärkster Regenfall, der aus dem schweizerischen Mittelland bekannt geworden ist) 24. 8. 1944 $N_t = 25$ min., $N_h = 100$ mm, $N_i = 4.0$ (Nr. 4). Bannwaldsee im Allgäu verzeichnete am 25. 5. 1920 in 8 min. = 126 mm, was einer super-tropischen Intensität von 15.8 mm/min. entspricht.

Berühmt ist für die Alpensüdseite, wo Intensitäten >1 hie und da auftreten, das grösste bekannt gewordene Tagesmaximum von 359 mm in Mosogno; 24. 9. 1924. Den grössten je erfassten Tages-Niederschlag soll Cherapunji (Assam) erhalten haben, wo am 14. 6. 1876 = 1037 gemessen wurden. Mengen, die also in der Grössenordnung der Jahressumme in unserem Mittelland liegen, treten in lokal speziell exponierten Verhältnissen subtropischer Gebirgsgegenden hie und da auf. Für das südalpine Draugebiet gibt STEINHÄUSER (1955) für 50 Jahre = 13 Tages-Niederschläge >150 mm an.

Hinweishalber sei angeführt die zur Abgrenzung der Starkregen erstellte WUSSOWsche Formel, die zu Überblicken hinreichend ist. Allerdings sind beide Wussow-Formeln insbesondere im Raum der extremen Kurvenschwänze für unsere Verhältnisse kaum verwendbar; einmal sind kürzeste Niederschläge schwer registrierbar, zum andern treten bei uns langdauernde Niederschläge mit relativ grosser Intensität kaum je auf.

In Fig. 34, die die Mindestanforderung für Starkregen im Zusammenhang mit den entsprechenden Niederschlags-Intensitäten veranschaulicht, tragen wir als Beispiel Nr. 5 ein, zweifellos für uns ein Starkregen. Es handelt sich um einen 16 Stunden dauernden Niederschlag in Langenthal, der mit 52 mm immerhin die Intensität 0.05 mm/min. erreicht und demnach nicht rechts und oberhalb der Kurve Platz findet, also nicht im Raum der Starkregen (nach WUSSOW).

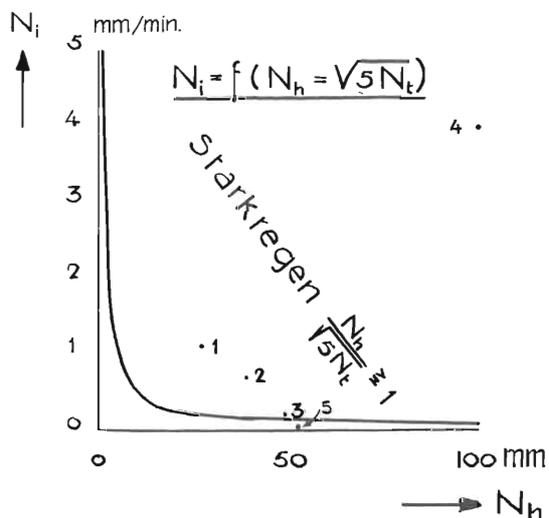


Fig. 34 Starkregen nach WUSSOW, Niederschlagsintensität N_i und Niederschlagshöhe N_h . N_t = Niederschlagsdauer in Min.

4. Abfluss

4.1. Jahreswerte und Dauer der Abflussmengen

Seit 1924 wird die Langete mittels Limnigraph (Schreibpegel) des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft (A+W) in der Abfluss-Station Lotzwil, bei der obersten Strassenbrücke, gemessen. Im Jahre 1968 wurde die Station unterhalb der Brücke neu eingerichtet (Abb. 21). Seit 1965 ist zudem in Huttwil/Häbernbad eine weitere Limnigraphen-Station an der Langete in Betrieb.

Früher schon, 1907–23, wurden in Huttwil/Häbernbad und Weinstegen Wassermessungen vorgenommen. Diese alten Werte wurden in vorliegende Untersuchung nicht einbezogen, da sie von blossen Wasserstands-Beobachtungen (Ablesungen) herrühren und nicht mit den laufend aufgeschriebenen Pegelständen der Limnigraphen-Stationen verglichen werden können.

Bis inkl. Stichjahr 1968 lagen demnach für die Langete eine 45jährige Messreihe Lotzwil und eine 3jährige Häbernbad vor (Tab. 11, Fig. 35). Einerseits handelt es sich also hinsichtlich der Station Lotzwil um ein vorzügliches Grundlagenmaterial, das aussagekräftige Einzel- und Mittelwerte zu liefern vermag. Andererseits können wir uns heute im Blick auf die bloss 3 Jahre der Zahlen von Häbernbad noch kaum Vergleiche zwischen den Teilgebieten erlauben. Diese bleiben einer spätern Auswertung vorbehalten. Für die Abflussmengen von wesentlicher Bedeutung ist, dass beim Limnigraphen Lotzwil der im Schotterprofil verborgene Anteil Grundwasser nicht erfasst wird.

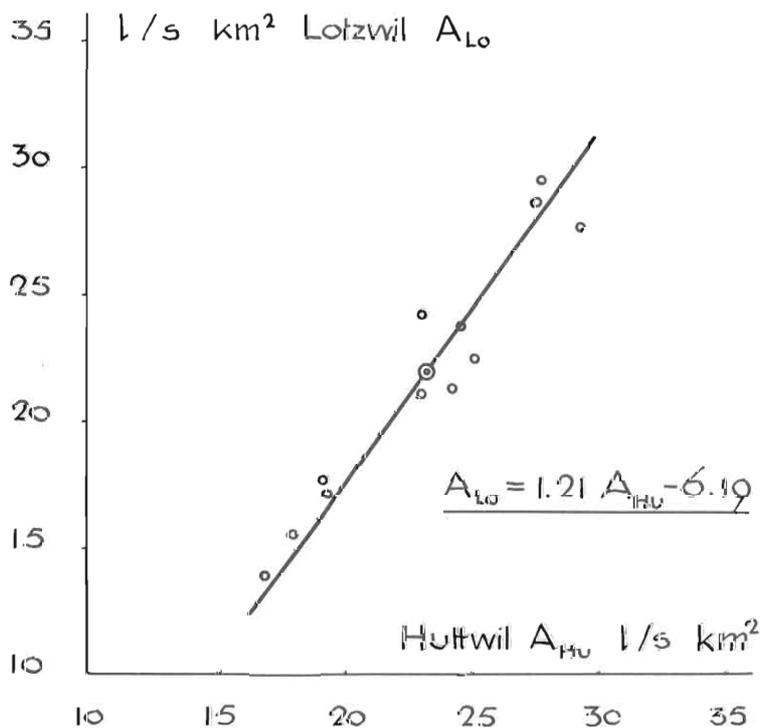


Fig. 35 Langete 1966–68. Mittlere monatliche Abfluss-Spenden. Beziehung der untern zur obern Abfluss-Station an der Langete

Tab. 11: Langete 1966–1968. Abfluss-Spenden der beiden Limnigraphenstationen am Flusse

Monat	Langete/Huttwil				Langete/Lotzwil			
	1966	1967	1968	Mittel	1966	1967	1968	Mittel
I	32.7	27.2	22.5	27.5	31.3	29.5	25.0	28.6
II	34.4	19.7	29.0	27.7	42.7	19.8	25.8	29.4
III	33.1	21.2	33.6	29.3	35.1	21.9	25.7	27.6
IV	30.6	17.0	26.0	24.5	30.8	19.5	20.9	23.7
V	24.9	19.0	25.4	23.1	30.2	22.8	19.7	24.2
VI	17.9	19.7	20.0	19.2	17.0	22.4	13.8	17.7
VII	18.0	13.2	19.5	16.9	17.3	14.6	12.8	13.9
VIII	25.2	11.9	38.2	25.1	22.2	14.3	30.6	22.4
IX	18.4	14.0	36.6	23.0	15.7	14.2	33.0	21.0
X	17.4	12.0	24.2	17.9	13.0	10.4	23.2	15.5
XI	20.0	16.0	22.0	19.3	18.6	15.3	17.3	17.1
XII	32.1	18.0	22.5	24.2	31.5	13.9	18.3	21.2
Mittel	25.4	17.4	26.7	23.17	25.4	18.2	22.2	21.93

Was die langjährige Reihe 1924–68 betrifft, die in Fig. 57 gemäss Tab. 24 veranschaulicht vorliegt, so beobachten wir allgemein die für unsere Zone erwartete enge Abhängigkeit des Abflusses vom Niederschlag. Dabei kommt ebenfalls eine gewisse Periodizität zum Ausdruck, beispielsweise die Welle zwischen 1924 und 1934 und die darauffolgende bis 1943.

Tab. 12: Langete/Lotzwil 1959–68. Abflusswerte

A = Abfluss	A Menge	A Spende	A Masse	A Höhe
Jahr	m ³ /s	l/s · km ²	Mio m ³	cm
1959	1.71	14.7	53.7	47.3
1960	2.06	17.8	64.9	57.1
1961	1.94	16.7	61.1	53.7
1962	1.91	16.5	60.0	52.8
1963	1.65	14.2	52.0	45.5
1964	1.37	11.8	43.2	38.0
1965	2.71	23.8	86.0	75.0
1966	2.89	25.4	91.4	79.9
1967	2.07	18.2	65.2	57.5
1968	2.52	22.2	79.4	70.5
Summe 1959–68	20.83	181.3	656.9	577.3
Mittel 1959–68	2.08	18.1	65.7	57.7

Tab. 12 enthält die Jahresresultate der Abflussmessungen für das Langete-Einzugsgebiet bis Lotzwil und weist erhebliche Differenzen auf zwischen dem Trocken-Jahr 1964 und dem abflussreichsten Jahr 1966. Deutlich wird, wie die 4 letzten Jahre unsrer Periode sehr wasserreich waren, entgegen der ersten Hälfte mit recht gleichmässiger Wasserführung der Langete.

Im Blick auf die Jahresreihe der Limnigraphen-Messungen an der Langete/Lotzwil (1924–68; Tab. 24) stellt 1966 das abflussreichste, 1949 das trockenste Jahr dar. (Auf das ganze Aare-Rhein-Gebiet bezogen, erweist sich das Jahr 1970 als das zweithöchste des bisherigen Jahrhundertteils, hinter jenem von 1910.)

4.1.1. Abfluss-Spenden von Alpenvorlandflüssen

Die spezifischen Abflussmengen (Abfluss-Spende, Menge pro km²) sind der sehr verschiedenen Lage und Arealgrösse der Flüsse wegen nicht durchwegs vergleichbar. Für einige Flussgebiete des zentralen

schweizerischen Alpenvorlandes wurden für Fig. 36 Regressionen berechnet. Dabei wurde die Beziehung zur Gürbe deshalb gewählt, da die Korrelationen hier enger ausfallen als bezüglich der Langete.

Bibern und Langete zeigen ein ähnliches Verhalten. Gegenüber der Gürbe weisen sie geringere Schwankung auf, was auf Grundwasserausgleich und – im Falle der Langete – auf jenen des Bewässerungssystems – zurückzuführen ist. Die tiefe Lage der Bibernwerte ist in der geringen Niederschlags-höhe (Seeland-Trockenzone) und der entsprechend hohen Verdunstung begründet.

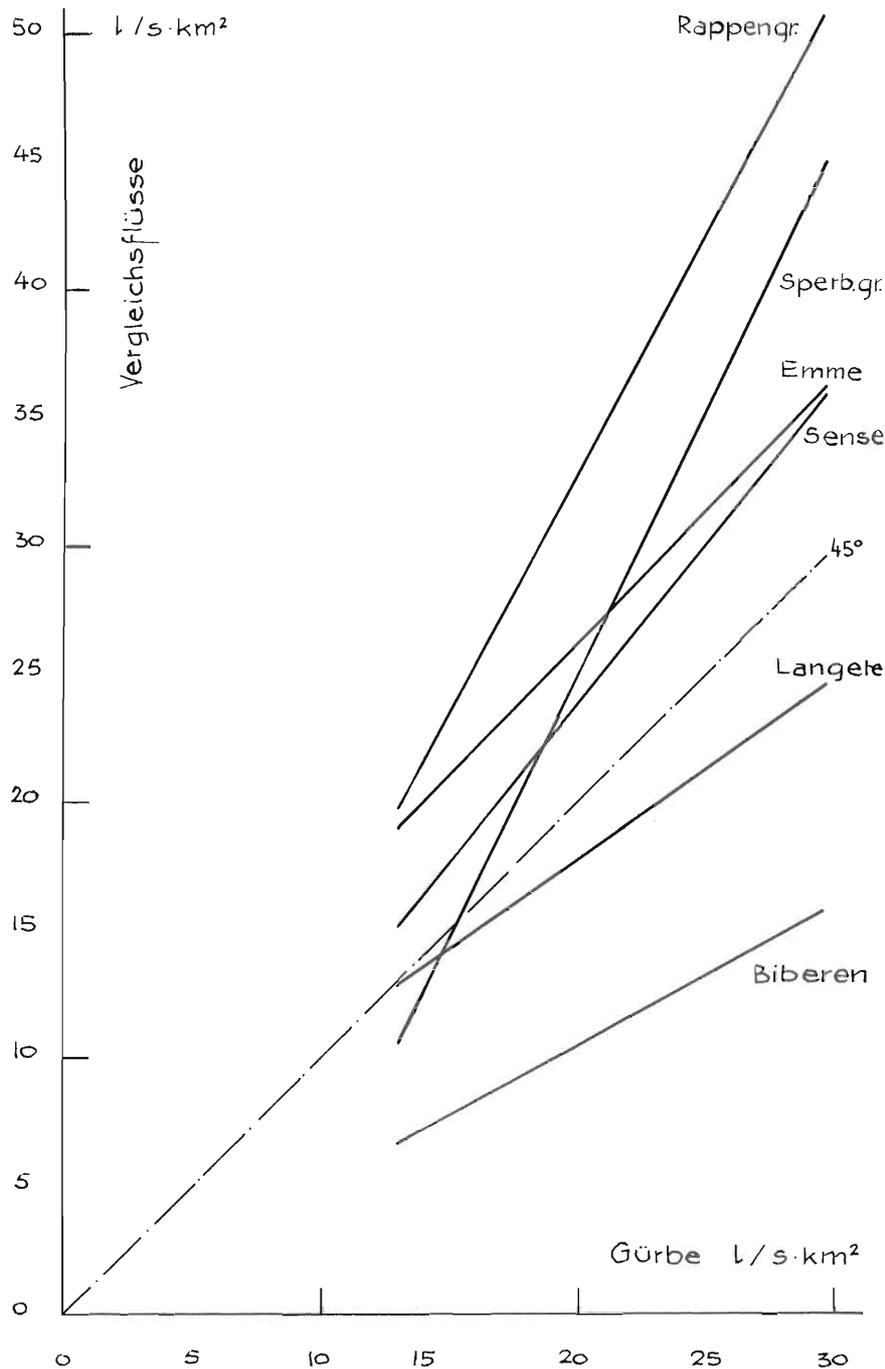


Fig. 36 Mittlere jährliche Abfluss-Spenden 1959–68 einiger Flüsse des zentralen schweizerischen Alpenvorlandes in Beziehung zu jenen der Gürbe.

Ähnlichen Schwankungscharakter weist auch die Emme auf, deren Abflüsse naturgemäss deutlich höher liegen. Die Sense, sehr eng korrelierend mit der Gürbe ($r = 0.99$), schwankt erheblich stärker. Und dies trifft dann insbesondere für die kleinen Napfflüsse aus Rappen- und Sperbelgraben zu, in deren Miniaturgebieten die Reaktion auf Niederschlagsunterschiede am stärksten ist.

Die den in Fig. 36 dargestellten Geraden zugrunde liegenden Funktionsgleichungen lauten:

Langete, Lotzwil (L) = f (Gürbe G)	$L = 0.706 G + 3.768$	($r = 0.78$)
Bibern, Kerzers	$B = 0.541 G - 0.157$	($r = 0.86$)
Emme, Emmenmatt	$E = 1.037 G + 5.502$	($r = 0.94$)
Rappengraben, Wasen	$R = 1.885 G - 4.851$	($r = 0.95$)
Sperbelgraben, Wasen	$Sp = 2.078 G - 16.422$	($r = 0.85$)
Sense, Thörishaus	$Se = 1.252 G - 1.062$	($r = 0.99$)

Den grössern Vergleichsrahmen bietet Tab. 14, wozu die Darstellungen Fig. 2 (Aaregebiet) und Fig. 37 (Hochrhein) gehören.

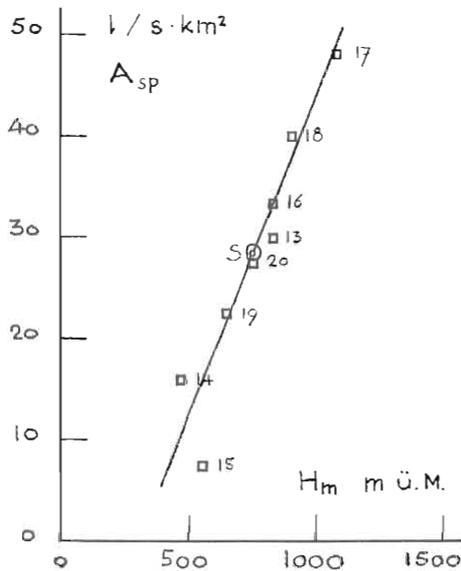


Fig. 37 Das Abflussvermögen von Hochrhein-Zuflüssen, vorwiegend aus Alpenvorlandgebieten, gemäss Tab. 13: Beziehung zwischen Abfluss-Spende A_{Sp} und mittlerer Gebietshöhe $H_m \cdot A_{Sp} = 0.063 H_m - 19.972$ ($l/s \cdot km^2$), $r = 0.95$. Der steilen Regressionsgeraden entspricht der erstaunlich hohe Abflussgradient $A_G = 6.3 l/s \cdot km^2 \cdot 100 m$ Höhendifferenz. Mittlere Höhenlage aller Gebiete: 767 m, mittlere Abfluss-Spende: $28.1 l/s \cdot km^2$ (vgl. Fig. 2)

Tab. 13: Abflussvergleich für Flüsse des zentralen schweizerischen Alpenvorlandes 1959–1968. Abfluss-Spenden in $l/s \cdot km^2$

Jahr	1 Langete Lotzwil	2 Bibern Kerzers	3 Emme Emmenmatt	4 Rappengraben Wasen	5 Sperbelgraben Wasen	6 Gürbe Belp	7 Sense Thörishaus
1959	14.7	8.73	19.2	24.7	19.7	15.0	18.0
1960	17.8	10.1	32.1	36.7	27.8	23.0	27.4
1961	16.7	8.53	23.5	24.3	22.2	15.8	20.0
1962	16.5	9.92	22.3	26.2	21.7	15.4	16.7
1963	14.2	10.5	30.0	29.6	25.1	21.8	26.8
1964	11.8	6.35	18.8	22.0	17.5	15.0	18.0
1965	23.8	15.4	33.6	51.3	42.6	29.0	34.8
1966	25.4	15.2	29.3	43.6	37.1	23.9	30.1
1967	18.2	9.58	–	37.4	26.1	20.5	23.0
1968	22.2	14.2	–	39.1	38.6	24.0	29.3
Mittel	18.13	10.85	26.10	33.49	25.84	20.34	24.41

Tab. 14: Mittlere Meereshöhe und Abfluss-Spende schweizerischer Flussgebiete (nach Hydrogr. Jahrbuch der Schweiz 1968).

Gebiet	Hm	A	Gebiet	Hm	A
	m ü.M.	l/s·km ²		m ü.M.	l/s·km ²
1 Somvixer Rhein Sutglatscher	2420	67.7	37 Langete Lotzwil	713	17.8
2 Ferrerabach Trun	2461	60.9	38 Witenwasser-Reuss Realp	2427	62.8
3 Hinterrhein H' Rhein	2360	63.9	39 Furkareuss Realp	2465	61.4
4 Averser Rhein Campsut	2424	43.7	40 Alpbach Erstfeld O' see	2430	69.0
5 Dischmabach Davos	2372	41.3	41 Alpbach Erstfeld B' berg	2200	74.7
6 Landwasser Davos	2227	33.3	42 Grosstalbach Isenthal	1820	42.4
7 Plessur Chur	1850	31.8	43 Muota Ingenbohl	1360	60.4
8 Landquart Klosters	2300	51.6	44 Lorze Baar	866	35.7
9 Taschinasbach Seewis	1896	51.8	45 Seez Weisstannen	1918	50.3
10 Tamina Vättis	2106	50.5	46 Seez Mels	1810	54.1
11 Tamina Bad Ragaz	1800	40.1	47 Steinenbach Kaltbrunn	2112	60.0
12 Simmi Gams	1387	26.4	48 Minster Euthal	1351	59.8
13 Goldach Goldach	833	29.7	49 Eubach Euthal	1216	47.3
14 Aach Salmsach	480	16.1	50 Grossbach Gross	1235	42.7
15 Biber Ramsen	570	7.47	51 Rhone Gletsch	2719	66.3
16 Glatt Herisau	840	33.3	52 Rhone Reckingen	2310	51.8
17 Urnäsch Hundwil	1085	48.0	53 Massa Blatten b. Naters	2945	67.7
18 Thur Halden	910	40.2	54 Saltina Brig	2050	28.8
19 Murg Wängi	650	22.7	55 Lonza Blatten	2630	57.7
20 Thur Andelfingen	770	27.5	56 Borgne la Lurette	2620	35.4
21 W. Lüttschine Zweilütschinen	2170	47.5	57 Drance d. Ferret Br. d'en haut	2340	48.7
22 Lüttschine Gsteig	2050	49.6	58 Reuse d. Saleina S. d'Orsières	2750	55.0
23 Kander Gastern	2600	52.1	59 Trient Trient	2370	52.6
24 Allenbach Adelboden	1856	42.9	60 Grande Eau Aigle	1560	37.8
25 Gornernbach Kiental	2270	56.3	61 R. d. Roggiasca Roveredo	1711	66.7
26 Simme Oberwil	1640	34.0	62 Melera Melera	1419	46.1
27 Gürbe Belp	837	20.8	63 R. d. Calneggia Caveragno	1996	53.3
28 Sense Thörishaus	1068	24.5	64 Krumbach Klusmatten	2276	37.8
29 Areuse St-Sulpice	1081	38.4	65 Zwischenbergbach Im Fah	2531	53.8
30 Noiraigue Noiraigue	1065	30.7	66 Cassarate Pregassona	990	34.1
31 Areuse Ch.-d.-Moulin	1080	34.5	67 Tresa Pte. Tresa	800	40.3
32 Bibernkanal Kerzers	540	11.1	68 Breggia Chiasso	940	22.2
33 Emme Eggwil	1330	36.5	69 Berninabach Pontresina	2617	42.1
34 Sperbelgraben Wasen	1063	28.9	70 Chamuerabach Campovasto	2550	34.4
35 Rappengraben Wasen	1141	34.7	71 Ova dal Fuorn Zernez	2331	20.3
36 Langete Huttwil	766	23.4	72 Ova da Cluozza Zernez	2368	28.6

4.1.2. Abfluss-Dauer

Was die Dauer der Abflussmengen betrifft, so weist die Langete ein recht günstiges ausgeglichenes Verhalten auf (Tab. 15, 16, Fig. 38), vor allem treten ganz minimale Abflüsse $< 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ im Durchschnitt bloss an einigen wenigen Tagen pro Jahr auf.

Tab. 15: Langete/Lotzwil 1924–68. Dauer der Abflussmengen: Abflussmenge in m^3/s , an T. Tagen im Jahr erreicht oder überschritten. Die Unterschiede fallen erwartungsgemäss nicht schwer ins Gewicht, doch ist eine leichte Verstärkung der Extreme (verstärkte Hochwasser, verminderte Niederwasser) zu beobachten, wenn wir von den frühern zu den jüngern Jahresreihen hin vergleichen.

Jahre	9 T.	18 T.	55 T.	91 T.	137 T.	182 T.	228 T.	274 T.	329 T.	347 T.
1924–35	4.9	4.0	2.7	2.3	2.0	1.7	1.5	1.3	1.0	0.9
1924–46	5.13	4.29	2.91	2.32	2.0	1.74	1.5	1.26	0.96	0.82
1924–57	5.25	4.19	2.84	2.34	1.96	1.69	1.44	1.21	0.89	0.70
1924–68	5.2	4.28	2.93	2.4	2.01	1.74	1.48	1.24	0.92	0.75

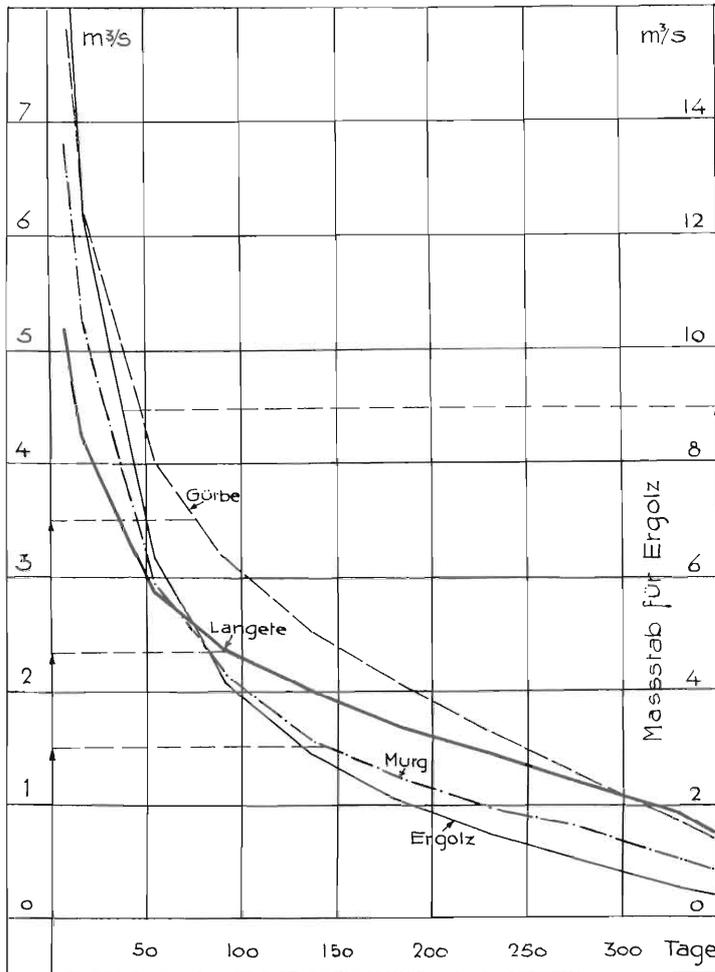


Fig. 38 Mittlere Dauer der Abflussmengen verschiedener Flüsse des Alpenvorlandes (Abfluss in m^3/s an T. Tagen jährlich vorhanden oder überschritten). Intervalle nach «Hydrogr. Jahrbuch der Schweiz» 1968

Tab. 16: Langete/Lotzwil 1959–1968. Dauer der Abflussmengen, Jahreswerte: Abflussmenge in m^3/s an T. Tagen im Jahr erreicht oder überschritten.

	9 T.	18 T.	55 T.	91 T.	137 T.	182 T.	228 T.	274 T.	329 T.	347 T.
1959	4.50	3.43	2.33	2.04	1.89	1.49	1.23	1.05	0.92	0.86
1960	4.28	3.58	2.85	2.44	2.16	1.87	1.62	1.42	1.23	1.08
1961	5.25	4.00	2.47	2.14	1.97	1.82	1.56	1.28	1.08	1.00
1962	4.57	3.93	2.91	2.44	2.08	1.52	1.23	1.03	0.91	0.83
1963	5.00	4.00	2.42	1.82	1.57	1.35	1.23	1.12	0.60	0.54
1964	3.38	2.84	1.98	1.66	1.35	1.18	1.03	0.90	0.77	0.73
1965	7.00	5.40	4.10	3.40	2.74	2.33	2.07	1.78	1.30	1.17
1966	6.00	5.19	4.28	3.71	3.15	2.69	2.10	1.83	1.49	1.32
1967	4.43	3.82	2.89	2.48	2.10	1.85	1.66	1.48	1.24	1.15
1968	5.58	4.59	3.46	2.95	2.57	2.29	2.01	1.75	1.52	1.33
Summe	49.99	40.78	29.69	25.08	21.67	18.39	14.74	13.64	11.06	10.01
Mittel	5.00	4.08	2.97	2.5	2.2	1.8	1.5	1.4	1.1	1.0

4.2. Zur Abflusskarte der Aare

Zu Überblicks- und Vergleichszwecken versuchten wir eine kartographische Synthese der räumlichen und zeitlichen Abfluss-Verteilung für das Aaregebiet vorzulegen: Diese Abflusskarte (Einlage 9.1.) enthält Angaben über Jahresmittel der Abflussmenge (m^3/s), der Abfluss-Spende ($\text{l}/\text{s} \cdot \text{km}^2$) und der Abfluss-Schwankung.

Als Flächengrundlage ist mittels Raster ein Bild des spezifischen Abflusses (Spende) gegeben, wobei die effektiven, d. h. gemessenen Abflussmengen zugrunde gelegt wurden. Das Haslital mit seinen hohen Niederschlägen erweist sich hierin als abflussreichste Zone des Aaregebiets, während für das übrige Berner Oberland Werte von $40\text{--}60 \text{ l}/\text{s} \cdot \text{km}^2$ gelten. Mit abnehmender Höhenlage der Einzugsgebiete geht von E nach W eine Abflussabnahme einher.

Dem subalpinen Mittelland kommen Abfluss-Spenden von $30\text{--}40 \text{ l}/\text{s} \cdot \text{km}^2$ zu, dem höhern Mittelland solche von $20\text{--}30$, dem tiefern Plateau-Mittelland solche von $10\text{--}20$ zu. Im höhern Kettenjura erhöht sich die Spende nochmals auf $> 20 \text{ l}/\text{s} \cdot \text{km}^2$.

Punktförmig sind sodann für jede Mess-Station die Abflussmenge in m^3/s und ein Schwankungs-Koeffizient in die Karte eingetragen. Was den erstern Wert und seine Diagramme betrifft, fällt die Darstellung der kleinen Flüsse schwer. Andererseits wirken die grossen Dreiecke etwas gewichtig. Deutlich wird hier wieder einmal, dass die Aare, als Seitenarm, beim Zusammenfluss mit dem Hauptstrom Rhein dessen Wasserführung übertrifft.

Die ebenfalls punktförmig als Kreissignaturen den Abfluss-Stationen zugesellten Schwankungs-Diagramme zeigen mit der schwarzen Fläche auf, in welchem Verhältnis die durchschnittlich an 18 Tagen des Jahres zumindest erreichte Abflussmenge NQ zum entsprechenden Jahresmittel MQ steht (NQ / MQ in %). Anders ausgedrückt: welcher Anteil der Mittelwasserführung bei Niederwasser noch vorhanden ist.

Naturgemäss sind die Schwankungsamplituden der glazial beeinflussten Alpenflüsse am höchsten, und in den Oberläufen fallen die Prozentsätze von 20 bis unter 10. Der für die Voralpen tiefe Wert der Emme (Eggiwil) dürfte teils auf Karstwasser-Verluste der Region Hogant-Schrattenfluh zurückzuführen sein. Im Mittelland und Jura (wobei in dem letztern ebenfalls mit Karsteinflüssen zu rechnen ist) betragen die Niederwasser allgemein $20\text{--}40\%$ der Mittelwasser, wobei die Langete mit 50% die geringste Schwankung aufweist (ausgleichende Wirkung durch Grundwasser und Bewässerungssystem).

4.3. Monatliche Wasserführung

Die Monats-Abflussmengen finden sich in Tab. 17, Fig. 39 und Fig. 62. Im folgenden werden wir zu Vergleichszwecken günstigeren Abfluss-Koeffizienten (Schwankungskoeffizienten) verwenden. Derart kann die jahreszeitliche Verteilung der Abflussmengen (mittlere monatliche Abflussmenge zu entsprechender Jahresmenge, angegeben in % oder Bruchteil) für verschieden grosse Wasserführung vergleichend dargestellt werden.

Da der Begriff Abfluss-Koeffizient unterschiedlich benutzt wird, sich in der Literatur mit demjenigen des Abflussfaktors überschneidet, hielten wir uns in der vorliegenden Arbeit an folgende Definitionen:

$$\text{Abfluss-Koeffizient AK} = \frac{\text{Monats-Abflussmenge}}{\text{Jahres-Abflussmenge}}$$

$$\text{Abfluss-Faktor AF} = \frac{\text{Abflussmenge}}{\text{Niederschlagsmenge}}$$

Aus Tab. 17 und Fig. 39 lesen wir heraus, dass der mittlere jährliche Verlauf der Monatsabflüsse durch sehr geringe Schwankungen ausgezeichnet ist. Dies darf, insbesondere vom Ausmass her und im Blick auf die relativ geringe Grösse des Einzugsgebiets, als Hauptergebnis vorangestellt und als besonderer hydrologischer Charakterzug bezeichnet werden.

Vergleiche mit andern Flüssen lassen diesen Sachverhalt klar hervortreten, so jene von Fig. 39 und 40. Dort sind bereits die monatlichen Unterschiede der benachbarten Emme deutlich grösser als die der Langete.

Der Karte zum «1. Bericht der IGU – Commission on the International Hydrological Decade» 1968 entnehmen wir, dass unter den darin aufgeführten Beispielen die Langete die geringsten schweizerischen Schwankungen aufweist (kleinster und grösster Schwankungskoeffizient nach PARDÉ). Ihr entsprechen im Alpenvorland einzig die kleinen Donau-Zuflüsse zwischen Iller und Isar, so Günz, Zusan, Wertach und Paar. Dem Isarzufluss Amper kommt die geringste Schwankung zu, die die IGU-Karte ansetzt. In der Schweiz folgen auf die Langete: Saane und Thur (unterer Laufteil).

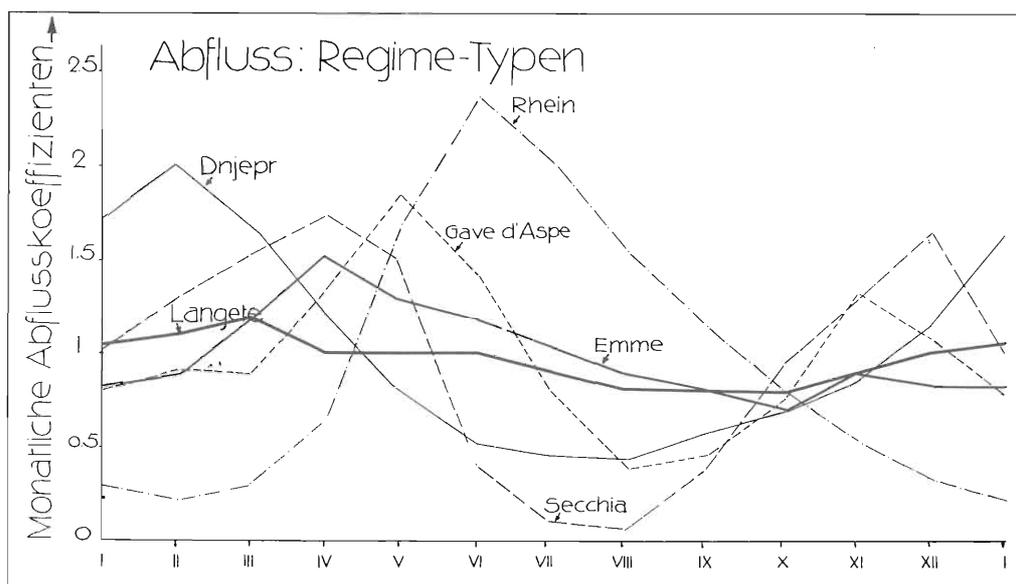


Fig. 39 Regime des Abflusses (Verhältnis der Monatsmittel der Abflussmengen zum Jahresmittel) verschiedener Gebiete: Mittlere monatliche Abfluss-Koeffizienten von Rhein/Felsberg (alpin-nival), Langete/Lotzwil (nival des Alpenvorlandes), Emme/Emmenmatt (nivopluvial von Voralpen und Alpenvorland), Gave d'Aspe/Bidos (nivopluvial der Pyrenäen), Secchia/Sassuolo (mediterranes pluvio-nival des Apennins), Dnjepr/Kamenka (nival der Ebene). Dazu gilt teilweise Tab. 17.

Der mittlere kleinste Abflusskoeffizient für 29 Einzugsgebiete des Aareraums (Tab. 21) beträgt $AK = 0.56$, der mittlere grösste $AK = 1.7$ (Aare, Murgenthal $AK = 0.8/1.3$).

4.3.1. Abflussregimes

Der abflussreichste Monat März fällt in unserem Gebiet, zumindest in dessen tieferem Teil, in eine der beiden Minimalzeiten der Niederschläge (Fig. 62). Diese weisen im Mittel bedeutend stärkere zwischenmonatliche Differenzen auf als die Abflüsse. Beide Tatsachen weisen bereits darauf hin, dass ein Regime-Typus vorliegt, in dessen Fall der Abfluss nicht nur durch die monatliche Niederschlagsverteilung gesteuert wird.

Tab. 17: Langete und Nachbarflüsse. Mittlere monatliche Abflussmengen A_m (m^3/s) und Abflusskoeffizienten AK . A_j = Jahresmittel.

Langete/Lotzwil 115 km ² $A_j = 2.02 m^3/s$ 1924–68												
Mon.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
A_m	2.19	2.34	2.52	2.16	2.02	2.01	1.82	1.78	1.76	1.71	1.93	2.00
AK	1.07	1.1	1.2	1.07	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0

Langete/Huttwil 60 km ² $A_j = 1.28 m^3/s$ 1966–68												
Mon.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
A_m	1.80	1.62	1.63	1.43	1.32	1.13	0.94	1.11	0.97	0.88	1.08	1.50
AK	1.4	1.3	1.3	1.1	1.0	0.9	0.7	0.9	0.8	0.7	0.9	1.2

Emme/Gerlafingen 940 km ² $A_j = 18.7 m^3/s$ 1922–68												
Mon.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
A_m	14.7	16.9	22.5	27.1	23.8	22.2	19.8	17.6	15.5	13.7	16.5	14.6
AK	0.8	0.9	1.2	1.5	1.3	1.2	1.05	0.9	0.8	0.7	0.9	0.8

Aare/Murgenthal 10 143 km ² $A_j = 283 m^3/s$ 1935–67												
Mon.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
A_m	228	249	270	308	340	372	352	312	277	226	232	225
AK	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.1	1.0	0.8	0.8	0.8

Ausgeprägt ist, dass das Monatsmaximum des März in die Zeit der Schneeschmelze der Napfregion fällt, die als schneereichste Zone unseres Gebietes den weitaus grössten Wasserlieferanten darstellt. Da im Jahresverlauf der 45jährigen Mittel nur ein Maximum vorhanden ist, sprechen wir nach PARDÉ von einem einfachen Regime des «type nivale». Die Ausprägung als Schnee-Typus ist deutlich.

Allerdings ist auch ein Einfluss durch die regenreichen Zeiten vorhanden. Einmal sehen wir bei den langjährigen Mitteln ihren Einfluss im flachen Linienvorlauf April–Juni. Zum andern bringt ein Blick auf andere Perioden ein verändertes Bild: Unsere früher benutzte Jahresreihe 1946–65 zeigt ein sekundäres Abfluss-Maximum im Juni, dem regenreichsten Monat dieser Periode (BINGGELI, 1968).

Ähnlich findet sich für unser Untersuchungs Jahrzehnt 1959–68 eine pluvial bedingte Nebenspitze des Abflusses im August (Fig. 62). Zusammengefasst: Die Langete weist ein sehr ausgeglichenes Nival-Regime des Alpenvorlandes mit untergeordnetem pluvialen Einfluss auf.

Auch nach der österreichischen Gewässer-Systematik von KRESSER (1961) ist die Langete als «Gewässer aus tertiärem Hügelland» zu klassieren, mit «ausgeglichener Jahressgang der Wasserführung und Grundwassereinfluss». Gemäss KRESSER wäre die Emme bei Gerlafingen ebenso einzustufen, bei Emmenmatt aber als «Voralpengewässer» (Maximalmonat im späten Frühjahr, April–Mai), während die Oberaargauer Aare bei Murgenthal als «Hauptvorfluter» und «Summentypus» bezeichnet wird.

Das für die Gleichmässigkeit der Wasserführung verantwortliche grosse Retentionsvermögen führen wir für den höhern Teil des Langetegebiets auf die Aufnahmekapazität der kluffreichen Napfnagelfluh zurück, wie auf die Rückhaltekraft des Waldbodens; im mittleren und tieferen Abschnitt des Tals

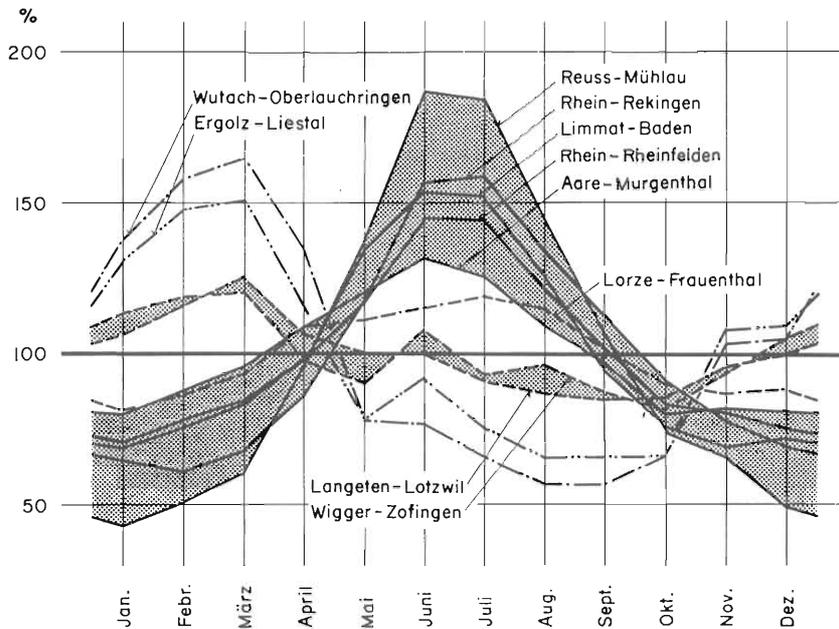


Fig. 40 Prozentuale monatliche Abfluss-Verteilung für verschiedene, insbesondere aargauische Gewässer. Monatsmittel der Abflussmengen in % des Jahresmittels. Deutlich ist der ausgeglichene Linienzug der beiden Flüsse des zentralschweizerischen Alpenvorlandes. Nach WALSER, 1968

kommt zu der letztern Wirkung ein anthropogener Faktor ins Spiel, nämlich derjenige der Wässermatten. Durch die regelmässige Bewässerung mittels Langetewasser kommt eine erwünschte Anreicherung des Grundwassers zustande, worauf wir noch speziell zu sprechen kommen (7.5.3).

Die graphischen Darstellungen dieses Kapitels fassen, was die Vergleichsgebiete betrifft, auf GUILCHER (1965), KELLER (1961) und WALSER (1968), die ihrerseits weitgehend auf die verschiedenen kompetenten Publikationen von PARDÉ zu diesem Thema gegriffen hatten. Auch nach der Walserschen Darstellung Fig. 40 weisen die Flüsse des Alpenvorlandes – hier Langete und Wigger – die geringsten Schwankungen (Monatsmittel zu Jahresmittel der Abflussmenge) auf, mit Maxima im Frühjahr und Minima im Spätsommer bis Herbst. Ähnlich wie die Mittellandflüsse verhalten sich die Jura- und Schwarzwaldflüsse (hier als Vertreter Ergolz und Wutach), doch mit stärker akzentuierten Schwankungen. Im Gegensatz dazu verlaufen die Regimes der alpinen Flüsse, mit grossen Sommer- und geringen Winterabflüssen, während die alpin beeinflusste Lorze eine Mittelstellung einnimmt.

4.4. Abfluss-Schwankungen

Entgegen der im vorangehenden Kapitel festgehaltenen Ausgeglichenheit in der mittlern Monatswasserführung weist die Langete im Blick auf Einzelwasserstände eine grosse Schwankungsbreite auf.

Einige Hauptwerte der Wasserführung lauten für die Langete (1924–68):

Mittelwasser MQ:	2.02 m ³ /s
Überschwemmungs-Hochwasser HQ:	>9 m ³ /s (Spitze >20 m ³ /s)
Höchste Spitze HHQ:	39 m ³ /s
Niedrigstwasser (min. Tagesmittel) NNQ:	0.05 m ³ /s

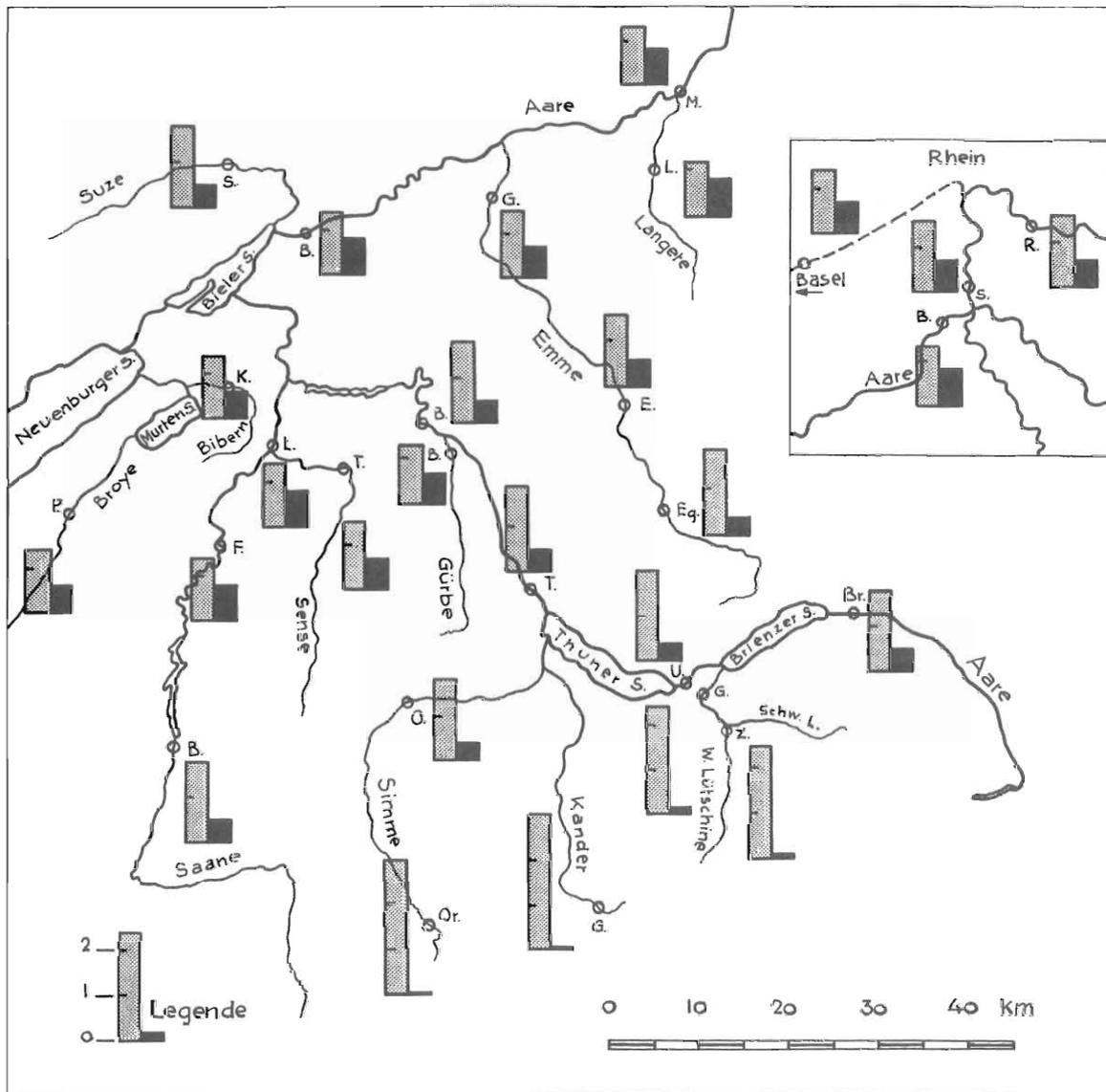


Fig. 41 Abflussregimes im Aaregebiet: Grösster und kleinster mittlerer Abfluss-Koeffizient $A.K = MQ$ Monat:MQ Jahr mit dem Monat des Auftretens (Schwankungskoeffizient nach M. PARDÉ) gemäss Tab. 21, Kolonne 8/9

Mittlere monatliche Abfluss-Schwankung (grösster/ kleinster Monatswert der Periodenmittel bis 1968 («Hydrogr. Jahrb. der Schweiz» 1968).

Langete/Lotzwil	1.5
Emme/Gerlafingen	2.0
Bibern-Kanal/Kerzers	2.1
Aare/Murgenthal	2.4
Rappengraben/Wasen	3.6
Kander/Gastern	4.1

Was die Verhältnisse extremer Einzeljahre der Perioden betrifft (Tab. 18), steht die Langete innerhalb der Schweizer Flüsse im obern Viertel. Quotient aus Nassjahr (abflussreichstes Jahr der Periode) und entsprechendem Trockenjahr:

Langete, Jahresreihe 1924–68	Nass- : Trockenjahr 3.1 : 1
1959–68	2.1 : 1

Im Mittelland und Jura liegt der Quotient «Nassjahr : Trockenjahr» langer Jahresreihen allgemein zwischen 2 und 3, in den Alpen zwischen 1 und 2, im Tessin wieder zwischen 2 und 3; überall sind Ausnahmen selten. Die Ausgeglichenheit der Alpenflüsse ist naturgemäss durch die Alternative Trockenjahr = grosse Gletscherschmelze, Nassjahr = grosse Niederschläge gegeben.

Spitzenabfluss-Spenden grosser Hochwasser

(Verschiedene Perioden nach «Hydrographischem Jahrbuch der Schweiz» 1968 und FRIEDRICH, 1948)

Langete/Lotzwil (115 km ²)	331 l/s·km ²
Emme/Gerlafingen (940 km ²)	596 l/s·km ²
Rappengraben/Wasen (0,596 km ²)	1783 l/s·km ²
Brenno del Lucomagno/Campra (35 km ²)	1737 l/s·km ²
Aare/Murgenthal (10 143 km ²)	91 l/s·km ²
Rhein/Basel (35 925 km ²)	164 l/s·km ²
Rhein/Düsseldorf (148 000 km ²)	76 l/s·km ²
Oder/Kienitz (109 000 km ²)	30 l/s·km ²
Wertach/Maria Rain (109 km ²)	1358 l/s·km ²
Gottleuba/Pirna (134 km ²)	3230 l/s·km ²
Neckar/Plochingen (4002 km ²)	252 l/s·km ²
Lech/Ellgau (4078 km ²)	307 l/s·km ²

Die Amplitude der extremen Abflussmengen aber ist bei der Langete relativ gross. Dabei sind wir uns bewusst, dass Vergleiche schwierig sind, da viele (u. a. anthropogene) Sonder- und Störeinflüsse wirksam sind. Es dürfen nur Grössenordnungen verglichen werden.

Koeffizienten K von Spitzen-Abflüssen (m³/s)

(Verschiedene Perioden bis 1968, «Hydr. Jahrb. der Schweiz» 1968)

Langete/Lotzwil*	780
Aare/Murgenthal*	11.5
Sperbelgraben/Wasen	9440
Emme/Eggiwil*	9750
Bibern/Kerzers	173
Sense/Thörishaus*	429
Gürbe/Belp*	630
Doubs/Ocourt	500
Doubs/Combe des Sarrasins	>40000
Weisse Lütschine/Zweilütschinen*	230

$$K = \frac{\text{Maximale Spitze m}^3/\text{s}}{\text{Min. Tagesmittel m}^3/\text{s}}$$

Simme/Oberwil	137
Murg/Wängi	563
Töss/Nefthenbach*	199
Baye/Montreux	625
Brenno del Lucomagno/Campra	81
Breggia/Chiasso (1966-68)	889
Inn/St. Moritz-Bad*	304
Rhein/Basel*	29

* mit Jahresreihen mehrerer Jahrzehnte

Koeffizienten von Spitzen-Abflüssen nach FRIEDRICH (1948)

Felda (Weser)	215 km ²	1366
Felda (Weser)	534 km ²	310
Neckar/Plochingen	4002 km ²	250
Inn/Wasserburg	12 000 km ²	37
Isar/Landau	8478 km ²	21
Rhein/Rees	159700 km ²	19

Zur Langete gesellen sich die verwandten Mittellandflüsse Gürbe, Sense und die ostschweizerische Murg. Als sehr ausgeglichen zeigen sich Bibern und Töss. Juraflüsse (und auch Rappengraben/Wasen) können in höchste Koeffizienten steigen dadurch, dass sie gelegentlich überhaupt versiegen.

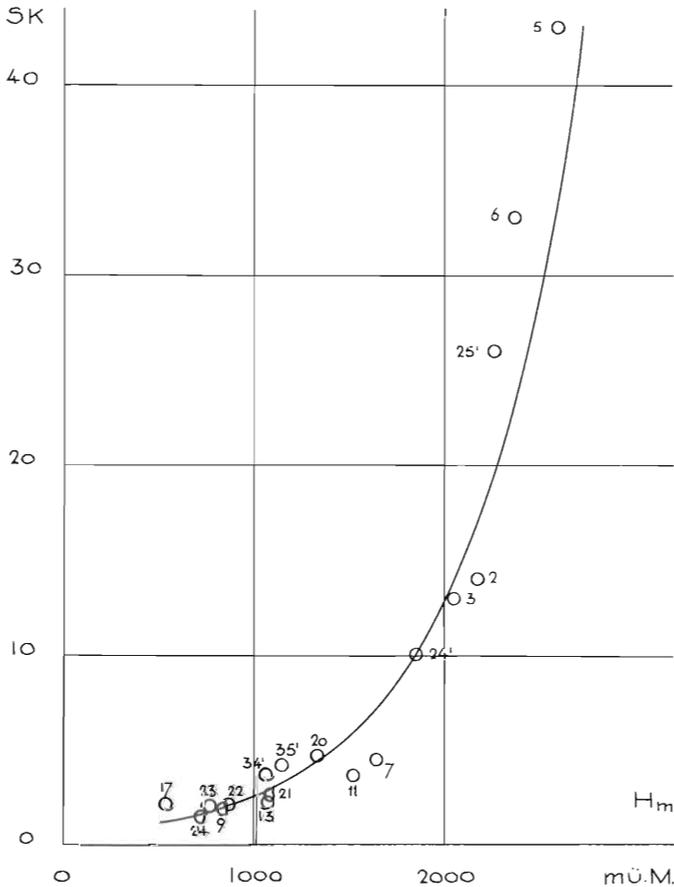


Fig. 42 Schwankung SK der mittleren monatlichen Abflussmengen in Abhängigkeit von der mittleren Meereshöhe H_m für 18 Flussgebiete der Alpennordseite und ihres Vorlandes im Raum der Aare. Verschiedene Perioden gemäss Hydrographischem Jahrbuch der Schweiz 1970. Ziffern siehe Tab. 21; apostrophierte Ziffern siehe Tab. 14. Schwankungskoeffizient $SK = \frac{\text{maximaler mittlerer Monatsabfluss } m^3/s}{\text{minimaler mittlerer Monatsabfluss } m^3/s}$. Regression: $SK = e^{15.9958 \times -0.6281}$ ($r = 0.96$).

Die Alpenflüsse weisen im allgemeinen ausgeglichene Werte von AK 100–300 auf, wobei das durch Karstretention gemilderte Regime des Brenno del Lucomagno auffällt. Nach bloss 3 Jahren Beobachtung aber steigt die Breggia mit dem Wert eines südalpinen Torrente-Regimes bereits sehr hoch.

Allgemein und naturgemäss gleicht sich die Schwankung in Richtung der grossen Flussgebiete hin aus. Als Übersichten zu diesen Erörterungen sind Fig. 41 und 42 gedacht.

Zusammenfassend sei festgehalten, dass die *Langete ein sehr gegensätzliches Schwankungsverhalten* aufweist: Geringe Schwankungen der mittleren Monatsabflüsse / grosse Schwankungen der extremen Einzelwerte. Beides jedoch ist auf dieselben Hauptgründe zurückzuführen. Wie bei der Ausgeglichenheit Wässermatten und Grundwasser spielen, so auch bei den extrem hohen Zahlen: Durch Ablässe in die Wässermatten und Eintritt ins Grundwasser treten in den sommerlichen Niederwasserzeiten (in den überschwemmten Wässermatten kann die Verdunstung noch gesteigert werden) ganz geringe Niedrigstwasser auf (Langete 1947–49, 1963: 0.05 m³/s), wodurch entsprechend der Schwankungskoeffizient emporschnellt.

Tab. 18: Abfluss-Spenden (l/s·km²). Schwankung der Jahreswerte innerhalb der Messreihen

Fluss/ Abfluss-Station	Periode	Mittel	Max. Jahr	Min. Jahr	Schwankungs-Koeffizient
Langete/Lotzwil	1924–68	17.6	26.2	8.43	3.1
Rappengraben/Wasen	1958–68	33.6	51.3	22.0	2.3
Sperbelgraben/Wasen	1958–68	28.7	42.6	17.5	2.4
Emme/Eggiwil	1931–68	36.1	49.4	20.7	2.4
Bibernkanal/Kerzers	1956–68	10.9	15.4	6.99	2.2
Gürbe/Belp	1923–68	20.7	33.3	10.9	3.1
Areuse/Ch. d. Moulin	1923–68	34.5	46.8	15.4	3.0
Brenno Lucomagno/Campra	1954–67	61.3	79.7	48.3	1.7
Kander/Gastern	1950–68	52.3	66.6	44.5	1.5
Lütschine/Gsteig	1924–68	49.6	55.9	41.4	1.4

Bei den extremen Tagesmitteln unserer Reihe 1959–68 erklimmt der Langete-Abfluss bereits die Amplitude 1:402. Hier tritt im Fall der Langete erstmals der äusserst geringe Minimalabfluss ins Spiel, den wir im folgenden als für die hohen Koeffizienten verantwortlich bezeichnen. Denn die Spitzen-Abflussmengen der Langete sind demgegenüber nicht sehr hoch (maximale Spitzen am 20. 2. 1940 und 15. 3. 1931: 39 m³/s oder 331 l/s·km²). Flüsse in Grössenordnung des Langete-Einzugs haben zumeist ein Mehrfaches unserer Zahl; oder es weisen Abfluss-Spenden in der Grösse der Langete sonst Flüsse mit Entwässerung einiger 1000 km² auf.

4.5. Hochwasser und Überschwemmungen

Durchschnittlich zu 9 Malen im Jahr führt die Langete Hochwasser (Tab. 19). Und im Durchschnitt der Beobachtungszeit 1950–69 trat pro Jahr 1 Überschwemmungs-Hochwasser ein; diese sind allerdings sehr ungleich verteilt, stehen doch den 5 Überschwemmungen des Jahres 1952 (!) 8 Jahre ohne solche gegenüber.

In der monatlichen Verteilung (Fig. 43) sticht heraus der August, wo die Sommergewitter ein Zusammenfallen beider Häufungen bringen. Die zweite Spitze der Hochwasser-Häufigkeit liegt naturgemäss in der Zeit der Schneeschmelze (März). Diese Zuteilung zeigt im Prinzip auch – so ungleich das Bild erscheint, da die Schneeschmelze im Juni liegt! – der alpine Vergleichsfluss Brenno del Lucomagno, während die Dreiteilung der südalpinen Magliasina dem insubrischen Niederschlagsregime entspricht (Fig. 44).

Tab. 19: Langete/Lotzwil. Auftreten von Hoch- und Höchstwasser. Monatliche Verteilung. Hochwassermenge = $>4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tagesmittel). Höchstwasser = Anzahl der Langete-Ablässe in Langenthal (S = Summe).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	S
1959–68													
Hochwasser	8	11	15	7	6	2	5	15	5	2	4	11	91
%	8.8	12.1	16.6	7.7	6.6	2.2	5.5	16.5	5.5	2.2	4.4	12.1	100
1950–69													
Höchstwasser	4	2	0	0	0	2	0	3	2	1	3	1	18
%	22	11	0	0	0	11	0	17	11	5.5	17	5.5	100

In Fig. 43 sind speziell noch jene Hochwasser eingetragen, die zu Notablass der Langete führen (Abb. 19), also eigentliche Katastrophen-Hochwasser mit Überschwemmungen darstellen. Diese traten am häufigsten im Januar, über gefrorenem Boden, auf. Im Gegensatz dazu stellte sich in den letzten 20 Jahren von März bis Mai nie eines dieser grossen Hochwasser ein. Als erstaunlich darf insbesondere gelten, dass gerade im Schneeschmelze-Monat März nie ein solches auftrat.

Für diese Höchstwasser sind primär entscheidend die *Regenfälle*. Im Januar führen solche zu Schneeschmelze oder jedenfalls zu Abfluss über gefrorenem Boden. Im März treten wohl Schmelze-Hochwas-

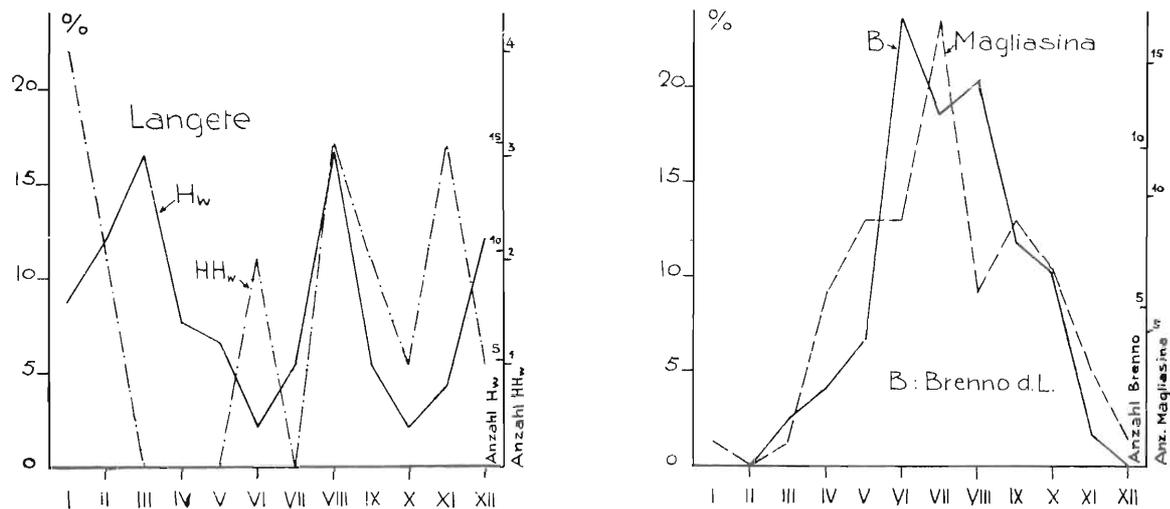


Fig. 43/44 Monatliche Verteilung von Hochwassern (Abfluss $>4 \text{ m}^3/\text{s}$ und von Überschwemmungshochwassern gemäss Tab. 19. Rechts Vergleich der Hochwasser-Verteilung in zwei Tessiner Gebieten, Magliasina nach GYGAX 1948 (1939–44: 70 Hochwasser), Brenno del Lucomagno nach BINGGELI 1961 (1954–58: 60 Hochwasser)

ser auf, nicht aber Höchstwasser (durch Regenfall in Schnee), da wir uns im niederschlagsärmsten Monat befinden. Entsprechend fällt die hochwassermässig günstigste Zeit zusammen mit dem abflussärmsten Monat (Oktober). Hätten wir nicht die erwähnte deutliche (und doppelte) Spitze des Augusts, so verlief die Hochwasser-Verteilungskurve entsprechend derjenigen der mittleren Monatsabflüsse.

Nachstehend die Verteilungen der Hochwasser auf die Jahresreihen, worin sich beidseits starke Schwankungen ergeben. Ausserdem wird deutlich, dass Hoch- und Höchstwasser nicht parallel auftreten.

Tab. 20: Langete/Lotzwil 1950–68. Auftreten von Hoch- und Höchstwasser. Verteilung innerhalb der Jahresreihe (Definitionen siehe Tab. 19)

Jahr	Hochwasser	Höchstwasser	Jahr	Hochwasser	Höchstwasser
1950		2	1961	7	0
1951		0	1962	8	1
1952		5	1963	6	1
1953		1	1964	3	0
1954		1	1965	20	0
1955		2	1966	19	0
1956		1	1967	0	0
1957		1	1968	16	2
1958		0			
1959	4	0	Summe	91	18
1960	8	1	Mittel	9	1

Häufigkeit und Heftigkeit der Langete-Hochwasser führen wir auf lokalklimatische Lage und Gliederung des Flussgebiets zurück: Von dem relativ kleinen, fast gefällosen Sohlental aus verzweigt sich ein ausgedehntes hügelig-bergiges Quellgebiet, das grosse Regen- und Schneemengen empfängt. Der Anteil des Napfberglandes macht fast genau die Hälfte des Einzugsgebietes aus. Rechnen wir dazu den aus dem Plateauhügelland stammenden Ursenbach, so erhalten wir 95.6 km² «Bergzone» gegenüber bloss 115 km² Gesamtfläche bis Lotzwil.

Für die Sommerhochwasser fällt ins Gewicht, dass die Nordseite des Napfs einen «traditionellen Strich» intensiver Gewitter darstellt. Ein weiterer Grund dürfte mit der starken Entwaldung des Oberlaufgebietes gegeben sein, die wir früher bereits anführten (BINGGELI, 1968) und die weiterhin als allgemein wesentliche Landschafterscheinung der Erklärung durch die Historiker harrt (Abb. 13, verglichen mit Abb. 14 und 15).

Auf alte Probleme und neue Gesichtspunkte einer künftigen Flusskorrektur an der Langete wird unter 7.5.4. eingetreten. Hier bleibt anzuführen, dass von Häufigkeit und Höhe der Hochwasser unsere Prognosen für künftig zu erwartende Spitzenwasser ausgehen.

Nachdem Kormann und Beetschen ihrem Korrektionsprojekt (1946) für die Langete oberhalb Langenthal einen Spitzenwert von 84.0 m³/s zugrunde gelegt hatten und sogar Zahlen über 100 m³/s genannt wurden, stellten wir unsere Erhebungen und Berechnungen, da sie zu bedeutend tieferen Werten führten, wieder und in weiterer Kreise zur Diskussion. Für fachliche Erörterungen danken wir den Herren Prof. Dr. F. Gyax, Direktor des Geogr. Instituts der Universität Bern; E. Walser, Vizedirektor des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft, Chef der Schweiz. Landeshydrographie, Bern; S. Bitterli, a. Direktor des EW Wynau, Langenthal. Sie kamen durchwegs dazu, die Grössenordnung der Spitzenwerte um 55 m³/s zu bestätigen.

Ausgangspunkt unsrer Bestimmung von Wahrscheinlichkeitswerten künftiger Spitzenabflüsse waren einerseits die vorliegenden Messdaten des Eidg. Wasserwirtschaftsamtes, andererseits die Auflage, dass eine künftige wahrscheinliche Erhöhung der Spitzen zu berücksichtigen wäre (zufolge des Abgangs bisheriger Hochwasser-Versickerungsräume, insbesondere solche der Wässermatten, bzw. durch künftige, verbesserte und vermehrte Eindämmung des Flusses). Denn bis heute finden jeweils gewisse

Mengen des Hochwassers ihren Weg über die Ufer zur Versickerung im umgebenden Talboden des mittleren und untern Laufabschnitts. Insbesondere ist dies der Fall in den Wässermatten von Rohrbach bis Roggwil (Abb. 39).

Die Bestimmung dieser vorversickerten Mengen, um die die Limnigraphenwerte zu erhöhen wären, fällt trotz weitgehender Kenntnis der Einsickerungsareale und Kartierung der Wässermattenflächen schwer. Einmal sind die jeweiligen Wassertiefen in den überschwemmten Fluren sehr verschieden und

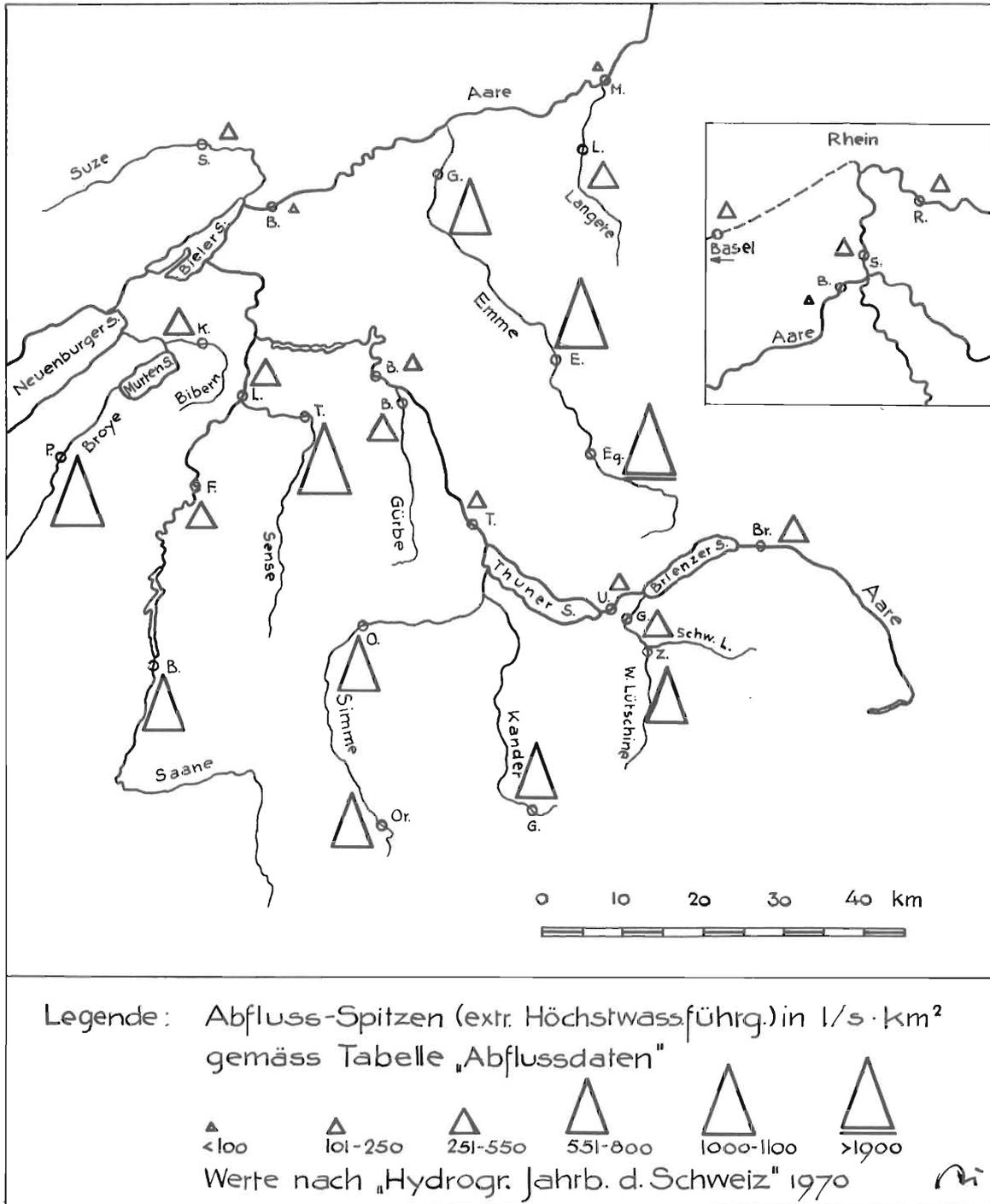


Fig. 45 Grösste gemessene Abflussspitzen des Aaregebiets nach Tab. 21 in $l/s \cdot km^2$

ungenau erfassbar. (Jedenfalls wurden bisher nie systematische Erhebungen durchgeführt.) Zum andern fließen bedeutende Anteile der aus dem Flusse ausgetretenen Überschwemmungswasser an geeigneten unterliegenden Stellen in diesen zurück.

Wahrscheinlichkeitswerte sind deshalb nur über Detailuntersuchungen von Einzelniederschlägen und den entsprechenden Hochwasserfluten zu ermitteln (5.3.).

Durch Kombination der verschiedenen Grössen von Niederschlag und Abfluss und unter Einbezug von Sicherungsschwellen (für Mehrwassermengen aus bisherigen Versickerungsräumen im Talboden) resultieren Spitzenabflüsse von 45–60 m³/s. Daraus setzen wir als wahrscheinliches 15–20jähriges Spitzenhochwasser der Zukunft ein solches mit Spitze von 55 m³/s an, wobei selbstverständlich Irrtum insoweit vorbehalten bleibt, als in gewissen Grenzen die Ermittlung auf erfahrungsmässiger Abwägung beruht.

4.5.1. Hochwasserkarten des Aaregebiets

Einen Überblick über Hochwasserbeträge des Aaregebiets gibt Tab. 21. Sie bildete die Grundlage zu den verschiedenen Kartierungen, wovon hier besonders die Spitzenkarte Fig. 45 und die Hochwasserkarte Fig. 46 zu erwähnen sind. Die Spitzenkarte zeigt, wie die höchsten spezifischen Spitzenmengen bei den «subalpinen» Flüssen mit Quellgebiet in den Voralpen und der subalpinen Zone auftreten, vorab bei der Emme, dann an Sense und Broye. Dass Seen und künstliche Stauhaltungen die Werte herabsetzen (Aare, Saane usw.), liegt auf der Hand.

Die Hochwasser-Karte erhellt, wie oft mal der Spitzenwert eines Flusses dessen Abflussmittel übertrifft (Hochwasser-Koeffizient HK in Tab. 21, Kol. 12). Zu Hochwasser-Analysen eignet sich der hier vorgeschlagene Quotient zumeist besser als jener der Extrembeträge, da minimalste Abflussmengen bei den verschiedenen Flussbett- und Mess-Stationenverhältnissen recht ungleichartig zur Erhebung gelangen.

Die Karte gibt wieder, dass unser Testfluss Langete den Typus des Alpenvorlandflusses mit mittlerer Schwankungsamplitude darstellt. Auf der Basis der Zahlen des Aaregebiets kann für Bergländer die folgende Systematik herausgelesen werden:

<i>Hochwasser-Flusstypen</i>	(HK = Hochwasser-Koeffizient)
1. Hochgebirgsflüsse	glazial, geringe Schwankungen, HK 10–20, z. B. Kander, W. Lütchine
2. Gebirgsrandflüsse	nival, hohe Schwankungen, HK 40–60, z. B. Sense, Emme (Oberlauf)
3. Vorlandflüsse	nival-pluvial, mittlere Schwankungen, HK 20–30, z. B. Gürbe, Langete
4. Grosse Vorfluter	Mischtyp, geringe Schwankungen, HK 1–10, Aare (Mittelland), Hoahrhein

4.5.2. Charakteristik einzelner Hochwasser

Grösstes Hochwasser der Beobachtungszeit 1924–70 war jenes vom 15. März 1931, was die Überschwemmungsfolgen betrifft. (Das kürzliche Katastrophenhochwasser der selben Stufe vom 21. November 1972 mit ca. 40 m³/s Spitzenabfluss wird später zu untersuchen sein.)

Das grösste Hochwasser unserer Periode 1959–68 trat am 13./14. Januar 1962 ein (Abb. 8): Im Einzugsgebiet der Langete lagen grössere Schneemassen, bis in die Niederungen. Eine Westwindlage brachte hohe Temperaturen, wie sie nur alle 10 bis 20 Jahre zu verzeichnen sind, und dazu Regenfälle. Fast alle Abfluss-Stationen des schweizerischen Alpenvorlandes im Rhein-Aare-Reuss-Limmat-Einzug registrierten maximale Momentanabflusswerte des Jahres. Für einige waren es die höchsten je gemessenen Januar-Mengen.

Insbesondere im zentralen Mittelland führten die geschilderten Verhältnisse zu Katastrophenhochwassern. An der Langete wurde die höchste Spitze seit 20 Jahren erreicht. Es handelte sich um ein Hochwasser vom Schneeschmelze-Regenfall-Typus.

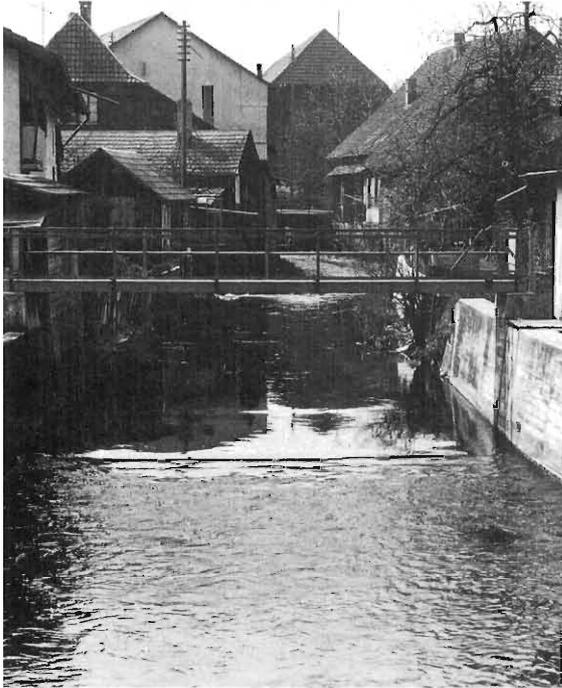
Belegt mit Pluviographenregistrierung, Limnigraphenstreifen und Werten des Einzelniederschlags wird als Exempel das Hochwasser vom 22. September 1968 (Fig. 47–50). Es darf noch als sommerlicher Gewittertypus betrachtet werden, wie sie in den letzten Jahren sozusagen regelmässig auftraten. Die Charakteristik entnehmen wir dem Hydrographischen Jahrbuch der Schweiz 1968:



Abb. 19 Langenthal. Wassergrösse am 13. 1. 1962 in der oberen Marktasse. Aufn. A. Wüthrich

Abb. 20 Langenthal. Historische Darstellung des Dorfsentrums; Marktasse als Hochwasser-Notgraben. Rechts Hochwasserauslass mit Schleuse an der Langete (siehe Abb. 27). Aufn. H. Zaugg





21



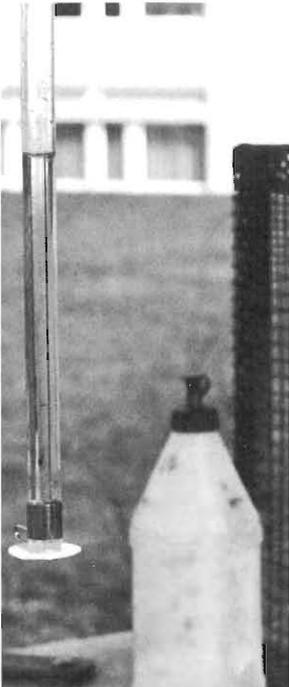
22

Abb. 21 Langete, Lotzwil, mit Abfluss-Station. Aufn. H. Scheidiger 1974

Abb. 22 Langete, Madiswil. Schande und Schönheit: Schaumbildung unterhalb der reizvollen doppelböigen Bisigbrücke. Aufn. Verfasser 1974

Abb. 23/24 Langenthal, Hard. Messstation für Niederschlag und Verdunstung (offene Hütte mit Wildscher Waage und Piche-Evaporimeter; letzteres verdeutlicht links aussen). Aufn. H. Scheidiger 1974

23



24



«Ohne besonders feucht zu sein, wie aus den Zahlen zu ersehen ist, war das Jahr 1968 jedoch gekennzeichnet durch die grossen Niederschlagsmengen und das ungewöhnliche Hochwasser im September. Wenn 1967 die Extreme nicht weit voneinander gelegen hatten, waren sie 1968 um so krasser.

Wenn die Regenfälle vom 3., 14. und 15. September erhöhte Wasserführung von einiger Bedeutung nach sich zogen, so erzeugten diejenigen vom 21. und 22. ein Hochwasser, das unter die höchsten des Jahrhunderts zu rechnen ist. Beinahe hätte es katastrophale Ausmasse angenommen. Mit variieren-

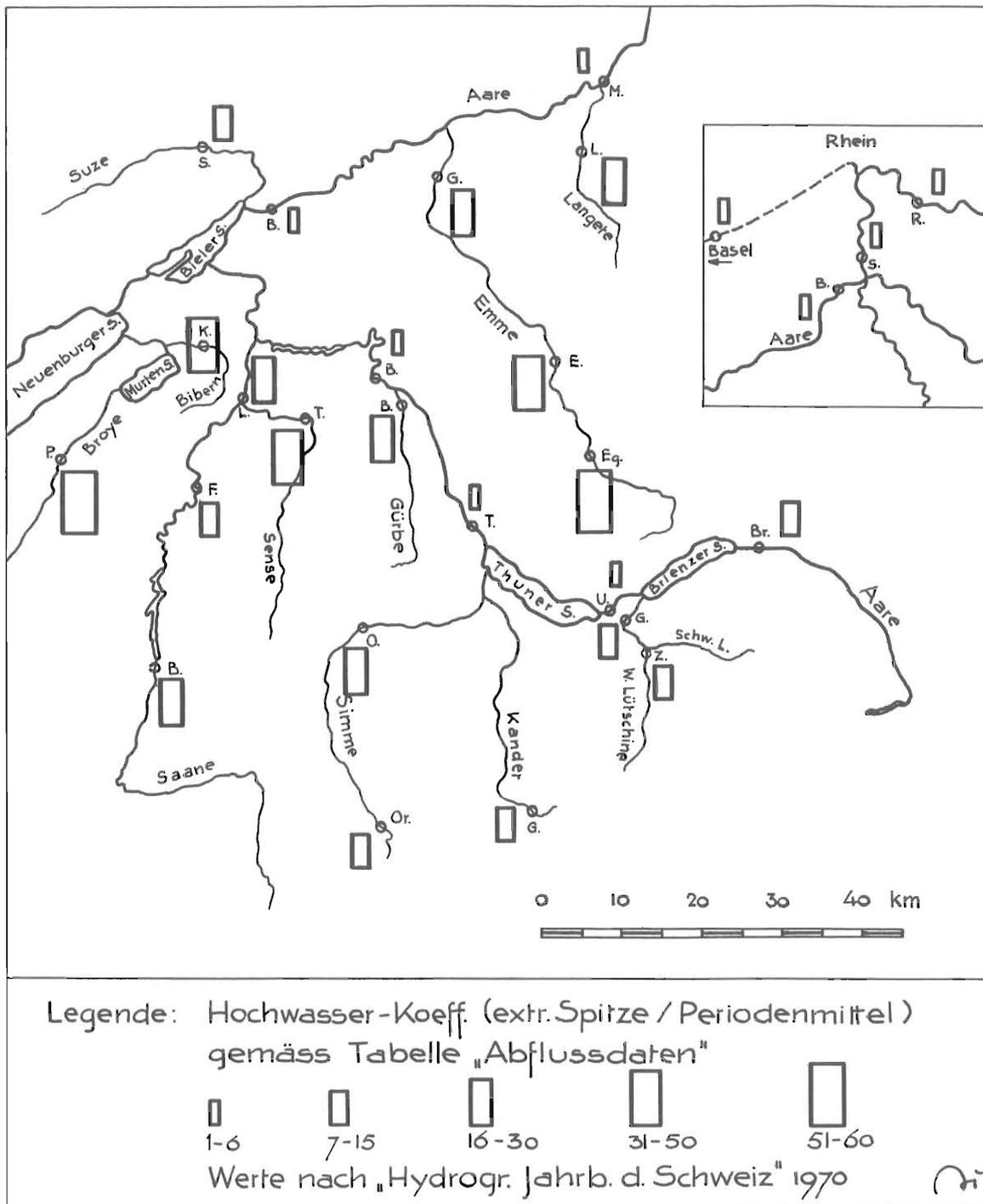


Fig. 46 Hochwasserkarte des Aaregebiets. Hochwasser-Koeffizienten gemäss Tab. 21

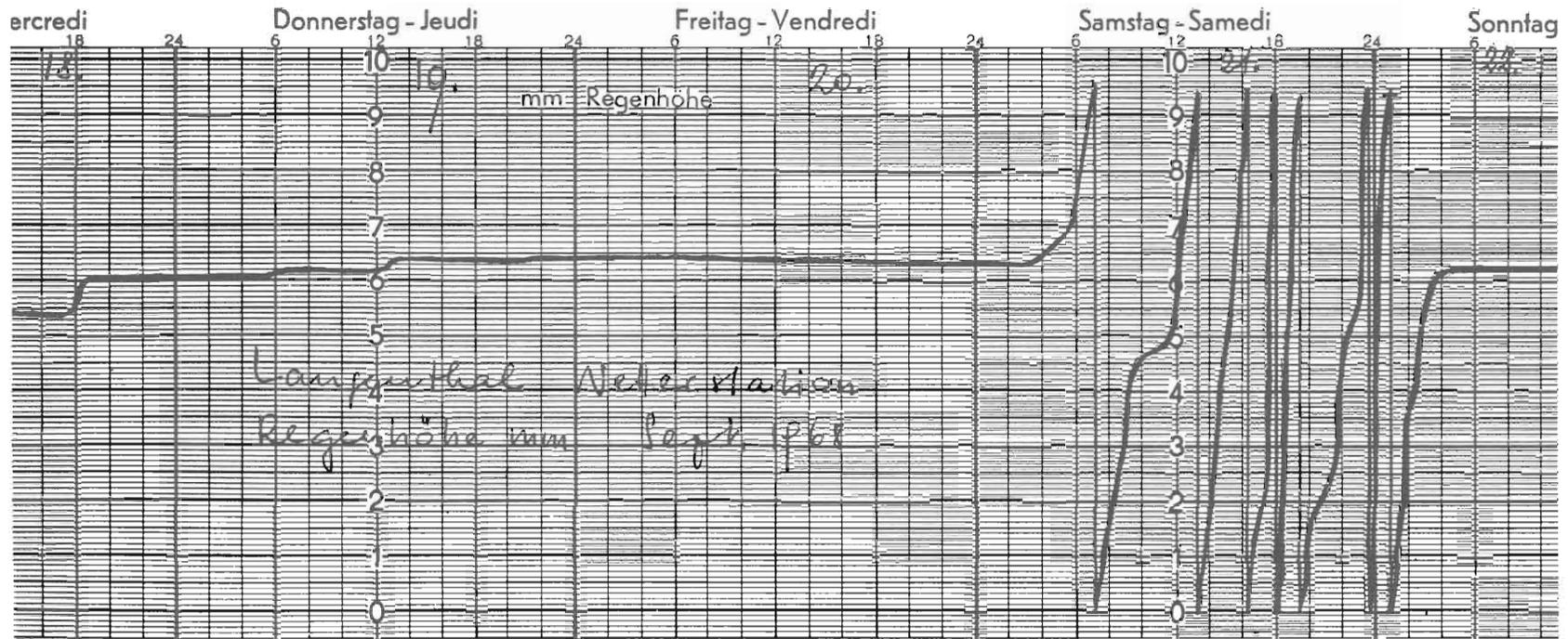


Fig. 47 Langenthal, Hochwasser vom 21./22. September 1968. Beispiel der Pluviographen-Registrierung eines sehr ergiebigen Einzelniederschlags, der ein Überschwemmungshochwasser zur Folge hatte (Tab. 29).

den, aber grossen Intensitäten fielen die Niederschläge während 24 Stunden. An manchen Orten registrierte man am 21. September die höchsten Tages-Niederschlagswerte seit Beobachtungsbeginn. Sowohl die Gebiete des Trient, der Arve, der Thur und der Töss, als auch verschiedene Gegenden des Aaregebietes wurden besonders stark betroffen. Immerhin stellte man fest, dass an den Stationen mit genügend langer Beobachtungszeit das denkwürdige Hochwasser von 1910 stärker war und dasjenige von 1953 grössere Tagesmittel aufwies, obwohl damals (1953) die Abflussmengenspitzen etwas niedriger lagen. Vervollständigen wir diese Analyse mit der Präzisierung, dass der Rhein, der ober- und unterhalb des Bodensees kein Hochwasser führte, während jenen kritischen Tagen eine Abflussmenge aufwies, welche kaum über dem Septembermonatsmittel lag. Wenn die Reuss in Mellingen und die Limmat in Baden auch kleinere Hochwasser aufwiesen, deren Spitzenabflussmengen von der Reuss durchschnittlich alle 13 Jahre und von der Limmat alle 3 bis 4 Jahre erreicht werden, trugen diese aber

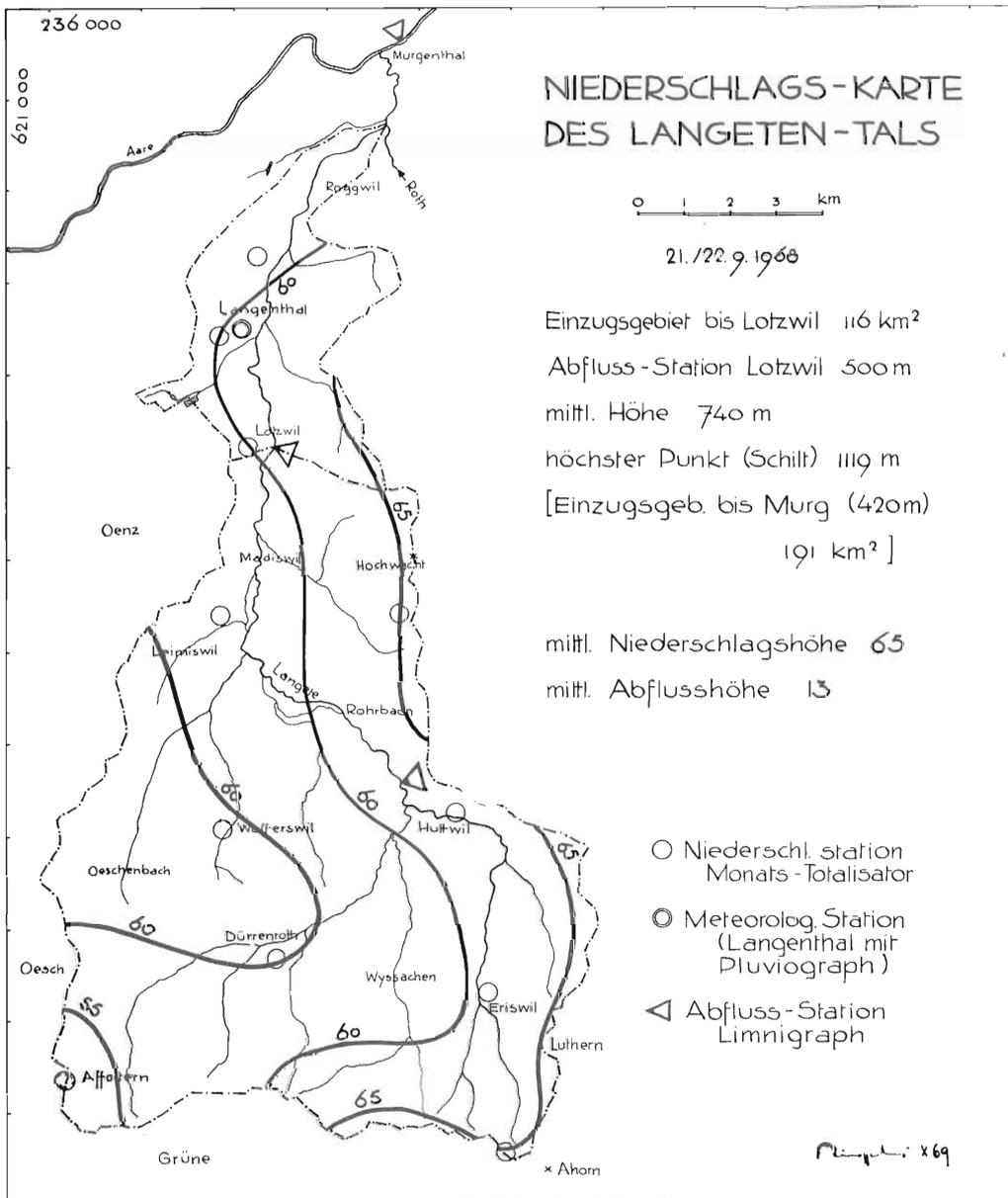


Fig. 48 Karte des Einzelniederschlags vom 21./22. September 1968; Niederschlagshöhen in mm.

zum Glück nur wenig bei zum Hochwasser der Aare und – in der Folge – des Rheins. Eine beträchtliche Anzahl von Stationen im Aaregebiet registrierte höchste Momentanabflussmengen der Periode oder des Septembers. Von den mittleren Monatsabflüssen ist dasselbe zu sagen. Die Töss in Neftenbach, die Areuse in Champ-du-Moulin, die Aare in Brügg, die Emme in Emmenmatt, die Langeten in Lotzwil, die Aare in Stilli, die Baye de Montreux in Montreux und der Doubs in Ocourt lieferten die höchsten Septembermonatsmittel.»

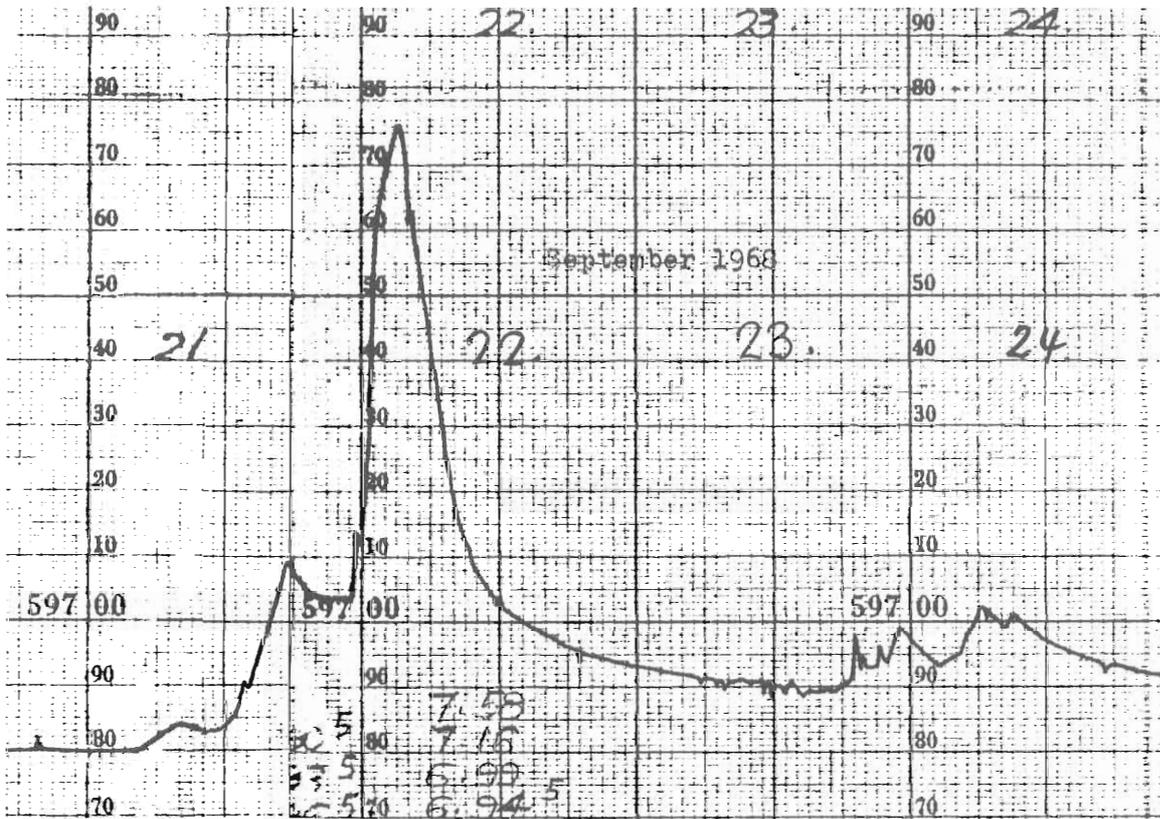


Fig. 49/50 Limnigraphen-Registrierungen von Langete/Huttwil (oben) und Langete/Lotzwil zum Hochwasser vom 21./22. September 1968

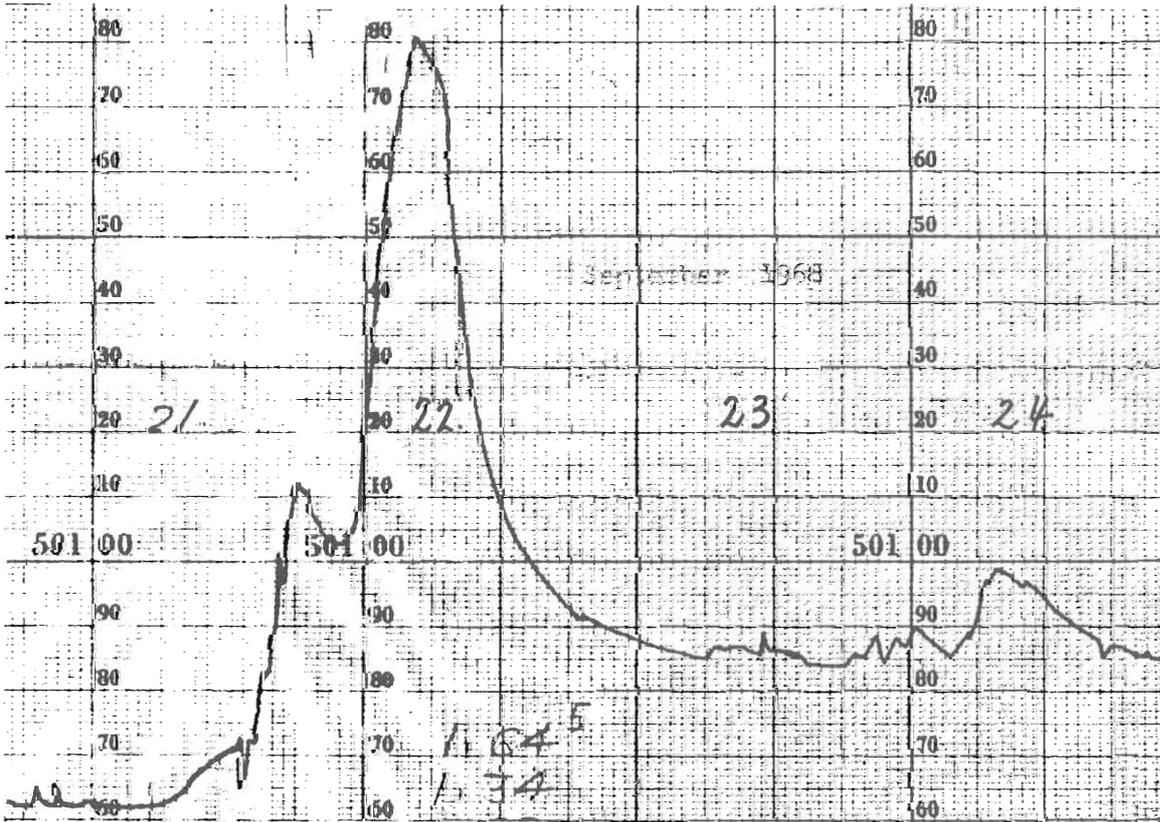


Tabelle 21 Abflussdaten für das Aaregebiet (oberhalb von Murgenthal)

1 Flussgebiet	2 Fläche km ²	3 mittl. Höhe m	4 Verglet- scherung %	5 Beob.- periode	6 Abfluss- menge m ³ /s	7 Abfluss- spende l/s. km ²	8 9 Abfl.koeffizient		10 11 Spitzenabfluss l/s. km ²		12 Höch- wass. koeff.	13 Schwan- kungs- Koeff.
							grösster	kleinster	Extrem- spitze	mittl. Mon. extr.		
1 Aare-Brienzwiler	554	2150	24.4	1954–70	33.9	–	1.8	0.5	489	259	8	74.7
2 Weisse Lütschine– Zweilütschinen	164	2170	20.8	1933–70	7.79	47.5	2.5	0.17	701	300	15	230
3 Lütschine–Gsteig	379	2050	19.5	1924–70	18.8	49.6	2.4	0.18	500	294	10	141
4 Aare–Unterseen	1140	1950	18.2	1935–70	61.7	–	2.0	0.4	191	132	3.5	100
5 Kander–Gastern	40.7	2600	43.5	1950–70	2.12	52.1	3.0	0.07	590	241	11	1200
6 Simme–Oberried	35.7	2370	38.2	1944–70	2.08	–	3.0	0.09	644	325	11	575
7 Simme–Oberwil	344	1640	4.2	1921–70	11.7	34.0	1.8	0.4	610	317	18	137
8 Aare–Thun	2490	1760	10.9	1935–70	111	–	1.9	0.5	161	128	3.6	171
9 Gürbe–Belp	124	837	0	1923–70	2.57	20.8	1.3	0.7	508	325	25	630
10 Aare–Bern	2969	1610	9.1	1935–70	122	–	1.8	0.5	145	119	3.5	14.9
11 Sarine–Broc	639	1520	1.0	1923–70	24.7	–	1.8	0.5	767	462	20	258
12 Sarine–Fribourg	1269	1240	0.5	1949–70	42.0	–	1.4	0.8	465	295	14	131
13 Sense–Thörishaus	352	1068	0	1928–70	8.4	24.5	1.5	0.7	1023	531	43	429
14 Saane–Laupen	1861	1140	0.3	1949–70	54.0	–	1.4	0.8	521	280	18	189
15 Areuse–Ch. d. Moulin	359	1080	0	1923–70	12.4	34.5	1.7	0.7	446	329	13	242
16 Broye–Payerne	392	710	0	1920–70	7.61	–	1.4	0.6	1070	519	55	382
17 Bibermk.–Kerzers	50.1	540	0	1956–70	0.54	11.1	1.4	0.6	400	184	37	173
18 Suze–Sonceboz	195	1050	0	1961–70	4.35	–	1.8	0.5	205	133	9	286
19 Aare–Brügg	8317	1150	3.3	1935–70	246	–	1.4	0.8	84	67	2.8	11.5
20 Emme–Eggiwil	102	1330	0	1931–70	3.72	36.5	1.9	0.4	1911	1030	53	9150
21 Emme–Emmenmatt	443	1070	0	1918–70	11.9	–	1.6	0.6	1061	555	40	109
22 Emme–Gerlafingen	940	860	0	1922–70	19.1	–	1.5	0.7	595	365	29	248
23 Langete–Huttwil	59.9	766	0	1966–70	1.40	23.4	1.4	0.7	350	158	15	344
24 Langete–Lotzwil	115	713	0	1924–70	2.04	17.8	1.2	0.8	339	243	19	780
25 Aare–Murgenthal	10143	1070	2.7	1935–70	284	–	1.3	0.8	91	77	3.2	11.5
26 (Aare–Brugg)	11750	1010	2.4	1935–70	312	–	1.3	0.8	97	78	3.7	12.2
27 (Aare–Stilli)	17625	1050	2.4	1935–70	561	–	1.5	0.7	116	94	3.6	14.8
28 (Rhein–Reclingen)	14718	–	0.85	1904–70	441	–	1.6	0.6	159	149	5.3	19.6
29 (Rhein–Basel)	35925	–	1.5	1808–1970	1030	–	1.4	0.7	161	115	5.6	28.7

Langete / Huttwil: kurze Periode! – Kolonne 8, 9: mittlere monatliche Werte MQ Monat/MQ Jahr. – Kolonne 10: höchster registrierter Spitzenwert. – Kolonne 11: Mittel der monatlichen Extremspitzen. – Kolonne 12: Quotient Extremer Spitzenabfluss/Periodenmittel. – Kolonne 13: Quotient Maximalspitze/Minimales Tagesmittel.

4.6. Wassertemperaturen

In den Jahren 1962–67 wurden an Oberflächen- und Grundwassern Temperaturen bestimmt, so auch an der *Langete* (oberhalb von Langenthal und bei Gutenberg/Bad). Über die 2 Jahre 1963/64 besitzen wir einigermaßen vollständige Reihen. Sie liegen den Monatsmitteln von Tab. 22 und Fig. 51 zugrunde, wozu auch die entsprechenden Lufttemperaturen eingesetzt wurden.

Als erstes ist festzuhalten, dass die Mittel von Wassertemperatur und Abflussmenge keinen Zusammenhang zeigen. In kurzzeitigen Verläufen kann dies sehr wohl der Fall sein (tiefe Temperatur bei hoher Wasserführung der Schneeschmelze, hohe Temperatur in sommerlicher Niederwasserzeit), doch sind dann zumeist mehrfache und teils verwischende Einflüsse vorhanden: So haben wir in Zeiten von hohem Schneeschmelzeabfluss ohnehin im allgemeinen tiefe Wasser- und Lufttemperaturen. Im Spätsommer andererseits wird die geringe Wassermenge wohl besonders stark erwärmt, doch treten gerade dann relativ kalte Grundwasser aus.

Tab. 22: Langete/Lotzwil 1963/64. Verlauf der mittleren Monatstemperaturen (T_L = Lufttemperatur; T_w = Wassertemperatur).

°C	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T_L	-4.7	-0.7	4.0	11.2	15.5	19.5	22.2	18.9	15.1	7.7	4.3	-2.9
T_w	1.05	2.7	3.85	7.4	9.4	12.9	13.6	14.4	13.6	10.2	7.5	4.8

Die Abhängigkeit der Wassertemperatur von der der Luft aber weisen sowohl die einzelnen Werte 1962–67 wie die Mittel in Tab. 22 und Fig. 51 klar auf. Auch die Kurve der Wassertemperatur-Monatsmittel weist eine Kulmination auf. Mit den Lufttemperaturen zusammen treten stets im Januar auch die minimalen Monatsmittel der Wassertemperatur ein.

Anders bei den hohen Temperaturen des Sommers: Zwar zeigt 1967 ebenfalls ein Zusammenfallen, doch 1963 hinkt die Spitze der Wassertemperatur hinter der der Luft um einen Monat nach (Juli–August), 1964 sogar um 2 Monate (Juli–September).

Dieses *Nachhinken* – unsere Vergleichsbeispiele zeigen einzig bei der Sill (Fig. 53) eine leichte Ähnlichkeit – könnte z. T. wieder zurückgeführt werden auf die Einflüsse der Wässerung, wo das Flusswasser eng mit dem Boden in Berührung kommt, der sich nach Sommermitte langsamer abkühlt als die Luft. – Indessen müssen wir vor allem in Betracht ziehen, dass die Lufttemperaturen für Langenthal gelten (Meteorologische Station Sek.), also Werte vom Unterlaufgebiet des Flusses darstellen. Dagegen weist das höherliegende Quellgebiet der Langete naturgemäss tiefere Luft- und auch Wassertemperaturen auf.

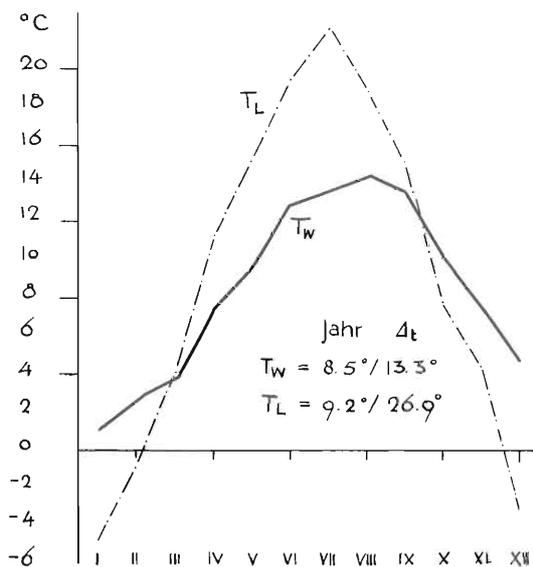


Fig. 51 Langete, Langenthal. Verlauf der mittleren Wasser- und Lufttemperaturen 1963/64

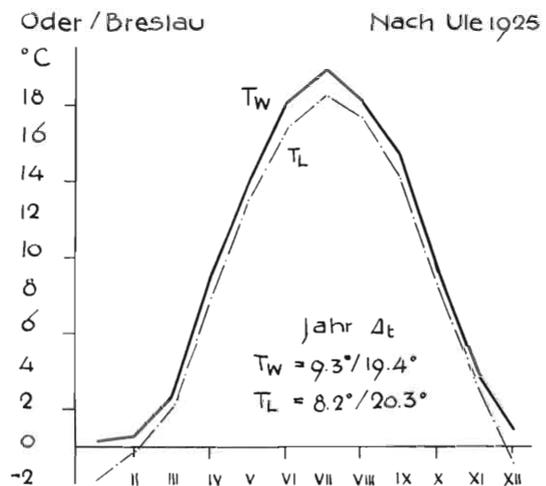
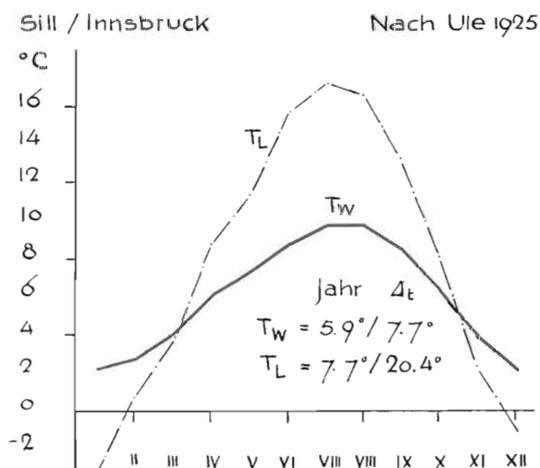
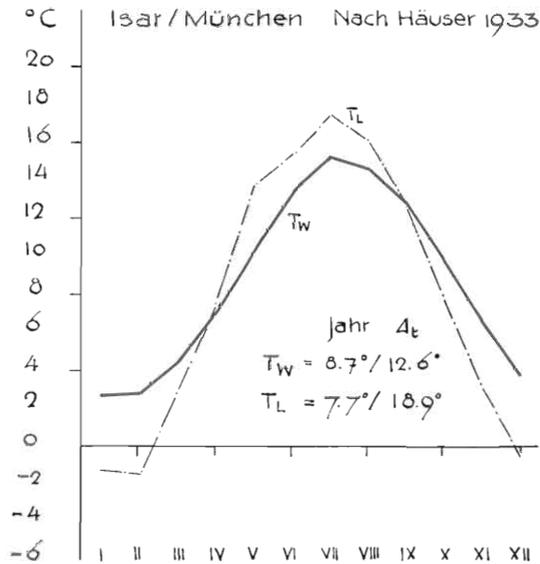


Fig. 52–54 Monatsmittel von Wasser- und Lufttemperatur. Vergleiche mit verschiedenen typischen Flussgebieten

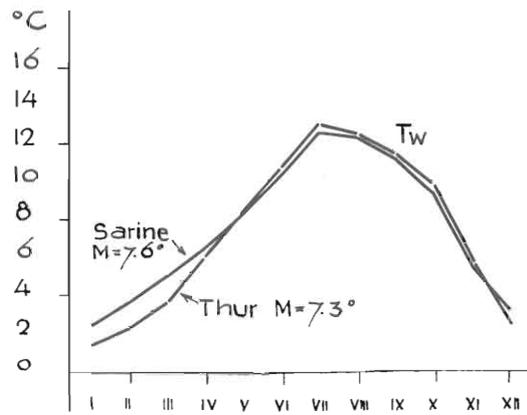
Die sozusagen durchwegs zu beobachtende *Asymmetrie der Temperatur-Kurven* der Flüsse ist durch das Juli–August-Maximum gegeben, wodurch der linke Kurvenabfall länger wird. Der rechte Ast ist im oberen Abschnitt zumeist flacher, da die Abkühlung der 2. Jahreshälfte langsamer vor sich geht als die vorherige Erwärmung. Die mittlere Steile ist jedoch beidseits ungefähr dieselbe, infolge des tiefen linken Ausgangspunktes (Januar-Minimum).

Die *Schwankungsamplituden* 1963/64 ergeben für das Wasser (13.3 °C) fast genau die Hälfte der Luft (26.9 °C). Doch bestanden in diesen beiden Jahren überdurchschnittlich hohe Sommertemperaturen, gegenseits tiefe Januar-Mittel, so dass wir vorläufig für eine längere Periode eine flachere Kurve postulieren.

Unter dem *Blickwinkel thermischer Flusstypen* unserer Breiten ist die Langete als Gebirgsfluss zu bezeichnen, vergleichbar der Isar (München; Fig. 52): 1. Mittlere monatliche Temperaturen des Wassers nur im Sommer niedriger als die der Luft; 2. Jahresmittel ungefähr gleich hoch. 3. Mittelgrosse Amplitude.

Grundwasser-Austausch verursacht Dämpfung der Kurve der Wassertemperatur: Diese ausgleichende Wirkung (Austritt von relativ kühlerem Grundwasser im Sommer, von relativ wärmerem im Winter) wie

Thur / Bütschwil 1963-68 Sarine/Broc 1964-68



Aare 1964-68

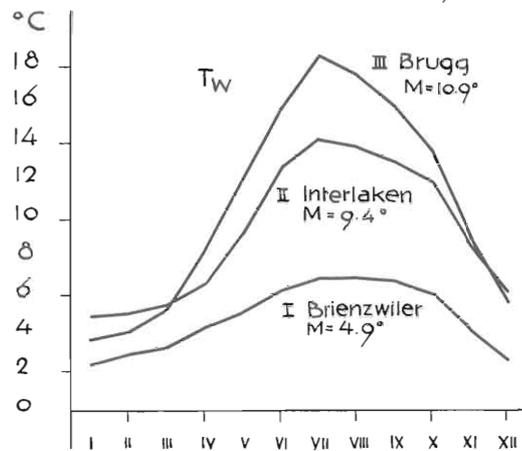


Fig. 55 Thur/Bütschwil 1963-68 und Sarine/Broc 1964-68. Monatsmittel der Wassertemperatur
 Fig. 56 Mittlere monatliche Wassertemperaturen der Aare 1964-68 in Brienzwiler, Interlaken und Brugg

die Retardation der Temperaturspitze des Wassers hinter jener der Luft kennzeichnen die Thermik des Langetwassers.

Die Sill als Gletscherbach zeigt naturgemäss den glazial-thermischen Typ: 1. Nur im Gebirgs-Hochwinter Monatsmittel der Wassertemperatur höher als die der Luft; 2. Mittlere jährliche Temperatur des Wassers deutlich tiefer. 3. Amplitude klein (Fig. 53).

Flüsse vom fluviotermischen Verhalten der Oder (Fig. 54) werden als Flachlandflüsse bezeichnet: 1. Wasser und Luft sehr ähnliche Temperaturverläufe; 2. Wasser durchwegs höhere mittlere Monats-Temperatur als Luft; 3. Hohe Amplitude.

Halten wir uns vor Augen, dass die drei doch recht verschiedenartigen Flusspersönlichkeiten Langete, Sarine und Thur (Fig. 55) sehr ähnliche Temperaturkurven aufweisen, so deutet sich für die Zone von Voralpen und Alpenvorland eine recht einheitliche Fluviotermik an.

Im Falle der Aare lässt sich zusammenfassend schön die phasenhafte Aufeinanderfolge der verschiedenen thermischen Flusstypen in ein und demselben Flusslauf illustrieren (Fig. 56):

Aare	Brienzwiler	Glazial-Regime	Gletscherfluss
	Interlaken	Montan-Regime	Gebirgsfluss
	Brugg	Plan-Regime	Flachlandfluss

4.7. Fliessgeschwindigkeiten

Es interessieren verständlicherweise vor allem jene der Hochwasserwellen (Durchlaufgeschwindigkeiten). So ist beispielsweise die Gemeinde Langenthal darauf angewiesen, zu wissen, dass ein Hochwasser von Weinstegen her, wo die Alarmnachricht gegeben wird, in 1 Stunde im Dorf anlangt. In der Zwischenzeit können die Stellen der Bauverwaltung ihre letzten Schutzvorbereitungen treffen.

Auf die Strecke: Weinstegen–Langenthal (9 km) bezogen resultiert eine Geschwindigkeit $v = 2.5$ m/s. Vergleichen wir Hochwasser-Spitzen der Limnigraphen-Registrierungen von Häbernbach und Lotzwil, so erhalten wir eine mittlere Geschwindigkeit für diese längere Strecke (12 km) von $v = 1.8$ m/s. Nach WILHELM (1966) liegen diese Werte an der oberen Grenze von Bächen in Berg- und Hügelländern, für die er um 1 m/s angibt (nach derselben Literatur gilt für grosse Flüsse $v = 1.5-3$ m/s; für Hochwasserwellen bis $v = 4$ m/s). «Lediglich in Schnellenstrecken treten höhere Geschwindigkeiten auf». (WILHELM, 1966).

Langete	Mittl. Fliessgeschwindigkeit:	Hochwasser	1.5–2.5 m/s
		Mittelwasser	0.7–0.9 m/s
		Niederwasser	0.4–0.6 m/s

5. Der Wasserhaushalt

5.1. Relationen zwischen jährlichem Niederschlag und Abfluss

Für unser Alpenvorland-Gebiet wählten wir als jährliche *Relations-Einheit* das Kalenderjahr, da für die Bilanz-Rechnung die zu Jahresanfang bestehenden Schnee-Rücklagen zumeist relativ gering sind, d. h. durch das «Weihnachts-Tauwetter» weitgehend abgetragen wurden. Allerdings wird sich die Frage der Umstellung künftig stellen, da wir doch an der Grenze des ins Gewicht fallenden Einflusses stehen. Da unser Beobachtungs-Jahrzehnt mit geringmächtigen Schneelagen begann, setzten wir die Ende 1968 liegenden Schneewasserwerte in Rechnung.

Es stellte sich sodann die Frage, inwieweit die Niederschläge unserer Reihe 1959–68 als *repräsentativ und mittelwertig* betrachtet werden können. Der Vergleich der Werte von Affoltern i. E. und St. Urban erweist, dass diejenigen unseres Jahrzehnts geringfügig (4%) tiefer liegen als jene der langen Reihe 1924–68 (110.5 cm/115 cm); die aus der Niederschlagskarte 1959–68 ermittelte Zahl lautet aber ebenfalls 115 cm! (Tab. 3, Fig. 22).

Die als Übersicht gedachte 45jährige Reihe 1924–68 ist in ihrem Ausmass durch die Beobachtungszeit der Langete (Limnigraphenstation Lotzwil) gegeben. Die entsprechenden Niederschlagssummen entstammen jedoch nicht Niederschlagskarten (entgegen unserem Beobachtungsjahrzehnt 1959–68).

Für die Jahresreihe 1924–68 bestimmten wir den approximativen *Gebietsniederschlag* gemäss Tab. 24 und Fig. 13, indem die beiden MZA-Stationen Affoltern i. E. und St. Urban für unser Gebiet repräsentative Werte liefern, jene für das Berg-Hügel-Land, diese für das Flachland (siehe auch Fig. 14).

In den deutlich wellenförmigen Aufeinanderfolgen von trockeneren und nasser Jahren in Fig. 57 folgt insbesondere beim Abfluss auf einen ersten Wellenbuckel (1926–32) die höchste, also nasseste Zeit der 45 Jahre (1935–41) und gleich darauf die Trockenperiode (1942–50). Dann tritt eine mittlere Periode ein und schliesslich die unförmige Welle 1959–67. Gleichsam als Verzierung (fast) jeder Wellenanhöhe beobachten wir darin eine Einstülpung, d. h. das Auftreten eines einzelnen Trockenjahrs, zumeist im Wellenscheitel (1929, 1938, 1953). Allgemein folgt auf eine abflussreiche Zeit 1924–41 eine deutlich abflussärmere bis 1964.

Wie wir es bei Zahlen aus dem Naturgeschehen gewohnt sind, beobachten wir im sonst konformen Verlauf der beiden Treppen von Fig. 57 einige *Regelwidrigkeiten*. Insbesondere ist die typische Anoma-

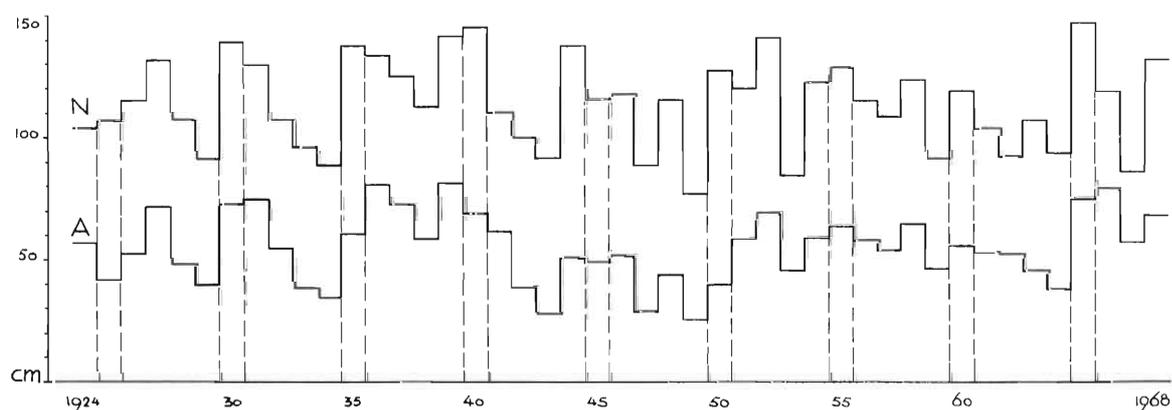


Fig. 57 Langetegebiet 1924–68. Jährliche Niederschlags- und Abflusshöhen. Niederschlag N: Mittel der Werte von Affoltern i. E. und St. Urban. A: Langete/Lotzwil (vgl. Tab. 24)

lie nach der Aufeinanderfolge von ausgeprägt trockenen und nassen Einzeljahren beachtenswert, wo im Folgejahr, falls es ebenfalls relativ nass ist, niedrigerem Niederschlag höherer Abfluss entgegensteht (1929/30/31; 1934/35/36; 1949/50/51; 1964/65/66). Es liegt auf der Hand, dass niederschlagsreiche Jahre, die auf trockene Aufbrauchjahre folgen, als intensive Rücklageintervalle wirken und ihr Niederschlag, bzw. dessen Speicherung, zu einem Teil erst im Folgejahr zum Abfluss gelangt. Solche Drittlahre erhalten demgemäss einen relativ deutlich höheren *Abflussfaktor*. Diese Trocken-Nass-Retention wird uns bei der Besprechung der Rücklagen des Untersuchungsgebietes noch beschäftigen.

Ein besonderer Fall liegt 1938/39/40 vor, wobei aber der Akzent trocken – nass nicht allzu gross ist; dass aber 1940 einem Anstieg des Niederschlags ein Sinken des Abflusses entgegen läuft, ist nicht ohne weiteres erklärbar und bleibe vorläufig eine offene Frage.

Tab. 23: Langete 1959–68. Niederschlag und Abfluss. Jährliche Gebietsmittel des Niederschlags, errechnet aus den Niederschlags-Karten

Jahr	Niederschlag cm	Abfluss cm	Abflussfaktor AF = $\frac{A \cdot 100}{N}$ %
1959	107	47.3	44.2
1960	129	57.1	44.3
1961	102	53.7	52.7
1962	92	52.8	57.4
1963	109	45.5	41.7
1964	97	38.0	39.2
1965	153	75.0	49.0
1966	129	79.9	61.9
1967	104	57.5	55.5
1968	136	70.5 ¹⁾	51.9
Summe	1158	577.3	497.8
Mittel	115 ²⁾	57.7	50.2

¹⁾ inkl. 30 mm Wasserwert der Schneedecke, ermittelt aus Schneehöhen-Karte vom 31. 12. 1968

²⁾ ermittelt aus Niederschlags-Karte 1959–68

Die Werte unsrer speziellen Jahresreihe 1959–68 sind als Gebiets-Niederschläge naturgemäss höherer Qualität als die vorstehend besprochenen, da sie aus Niederschlagskarten ermittelt wurden. Ihre Veranschaulichung in Fig. 58 zeigt aus dem oben erwähnten Grunde für die Niederschläge ein wenn auch ähnliches, so doch leicht geändertes Bild gegenüber Fig. 57. Die Gebietsmittel des Jahresniederschlags wurden nach der Quadrareck-Methode ermittelt.

Die Reihe des Jahrzehnts 1959–68 enthält ausgeprägt nasse bis sehr trockene Jahre; darunter ist 1965 das niederschlagsreichste, 1966 aber wies noch etwas grösseren Abfluss auf (Begründung siehe oben). Das Jahr 1965 darf für das Langetegebiet bis heute als *das regenreichste unseres Jahrhunderts* gelten. Der Abfluss von 1966 dagegen wurde seit 1924 zu zwei Malen geringfügig überboten (Tab. 24).

Bei den *Trockenjahren* stehen die 92 cm Niederschlag von 1962 ebenfalls an einer der untersten Stellen, kurz nach dem ausgeprägten Trockenjahr von 1949. Abflussmässig ist 1964 das Minimaljahr (38.0 cm), es wurde aber seit 1924 einige Male unterschritten, am deutlichsten wieder 1949 (26.4 cm).

Die Mittel 1959–68 lauten: Niederschlag N = 115 cm
Abfluss A = 58 cm

Der Abfluss beträgt also fast genau die Hälfte des Niederschlags: *Abflussfaktor* = 0.5 oder 50%. Da in diesem Wert der Anteil des Grundwassers fehlt, ist der Abflussfaktor grösser, da im jetzigen Wert der Anteil des Grundwassers nicht einbezogen ist.

Tab. 24: Langete 1924–1968. Niederschlag und Abfluss. Die Wasserführung der Langete (Lotzwil) in Funktion der Niederschläge (approximative Gebietsmittel). Jahressummen.

Jahr	Abfluss		Affoltern	Niederschlag cm	
	cm	m ³ /s		St. Urban	Aff. u. St. Urb./2
1924	56,9	2.09	106	102	104
1925	41,6	1.53	111	103	107
1926	53,3	1.96	113	118	115,5
1927	72,0	2.61	140	124	132
1928	48,1	1.77	108	107	107,5
1929	40,0	1.47	92	91	91,5
1930	73,4	2.70	142	137	139,5
1931	75,1	2.76	127	133	130
1932	54,7	2.01	109	106	107,5
1933	38,6	1.42	96	97	96,5
1934	35,1	1.29	90	88	89
1935	61,2	2.25	139	138	138,5
1936	80,8	2.97	138	130	134
1937	72,4	2.66	127	124	125,5
1938	58,8	2.16	115	111	113
1939	81,9	3.01	131	153	142
1940	69,4	2.55	147	144	145,5
1941	61,7	2.27	112	109	110,5
1942	38,9	1.43	94	107	100,5
1943	28,0	1.03	91	93	92
1944	50,9	1.87	140	136	138
1945	49,2	1.81	119	113	116
1946	52,5	1.93	127	109	118
1947	29,1	1.07	87	91	89
1948	43,3	1.59	119	113	116
1949	26,4	0.97	84	71	77,5
1950	40,0	1.47	133	123	128
1951	59,0	2.17	118	123	120,5
1952	68,5	2.52	138	145	141,5
1953	46,2	1.70	84	86	85
1954	59,3	2.18	119	127	123
1955	64,2	2.36	114	143	128,5
1956	57,7	2.12	108	123	115,5
1957	53,6	1.97	102	116	109
1958	65,0	2.39	118	130	124
1959	47,3	1.71	91	92	91,5
1960	57,1	2.06	118	121	119,5
1961	53,7	1.94	100	108	104
1962	52,8	1.91	86	101	93,5
1963	45,5	1.65	113	102	107,5
1964	38,0	1.37	96	92	94
1965	75,0	2.71	141	154	147,5
1966	79,9	2.89	115	124	119,5
1967	57,5	2.07	99	100	96,5
1968	68,5	2.52	127	137	132
1924–1968	55,2	2.02	114	115	115

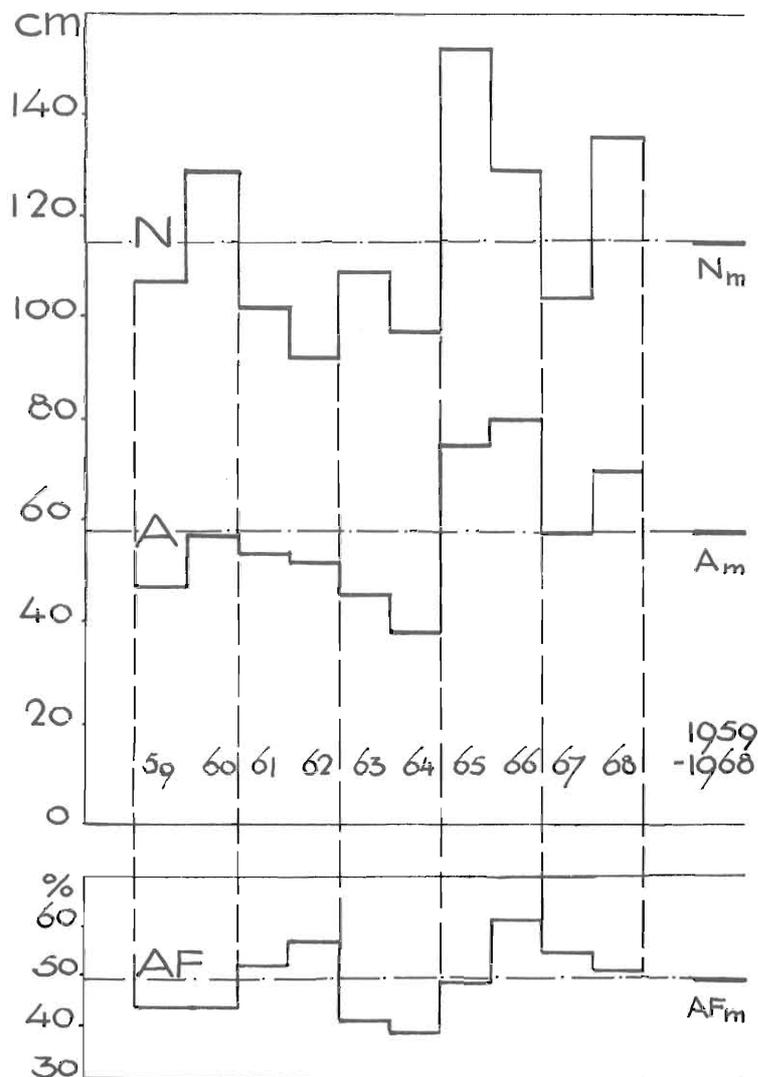


Fig. 58 Langetegebiet Lotzwil 1959–68. Jahreswerte von Niederschlag N, Abfluss A und Abflussfaktor AF (Niederschlagshöhe aus Niederschlagskarte)

Der Schwerpunkt der Relation von Niederschlag und Abfluss in Fig. 60 aber darf als gefestigte Grösse gelten, liegt doch auch derjenige der langjährigen Reihe (Fig. 59) fast genau an der selben Stelle:

1924–68 Niederschlag = 115 cm
 Abfluss = 55 cm

Die Streuung der Jahreswerte, wie sie Fig. 60 veranschaulicht, ist recht gross, doch die Regression signifikant linear. Der *Korrelationskoeffizient* entspricht dem der grossen Jahresreihe:
 1959–68: $r = 0.794$ und 1924–68: $r = 0.793$.

Die Regressionsgerade verläuft flach: Im Mittel entspricht einer Zunahme der Niederschläge nicht eine entsprechende Abflussvermehrung, wobei auch die Evapotranspiration eine Rolle spielen dürfte. Im Verlauf von jährlichem Abfluss und Abflussfaktor ist Parallelität nur bedingt vorhanden.

Stellen wir im folgenden unsere Werte in einen grössern Rahmen, so zeigt die Beziehung zwischen Abflussfaktor und mittlerer Meereshöhe der Flussgebiete in Tab. 1 eine erhebliche Streuung. Verständlicherweise: Sie enthält Punkte von schweizerischen Gebieten verschiedenster Grösse, Lage und Bauart, die zudem ganz verschiedenen wissenschaftlichen Arbeiten entstammen, nur schon, was Alter und Beobachtungsreihe betrifft.

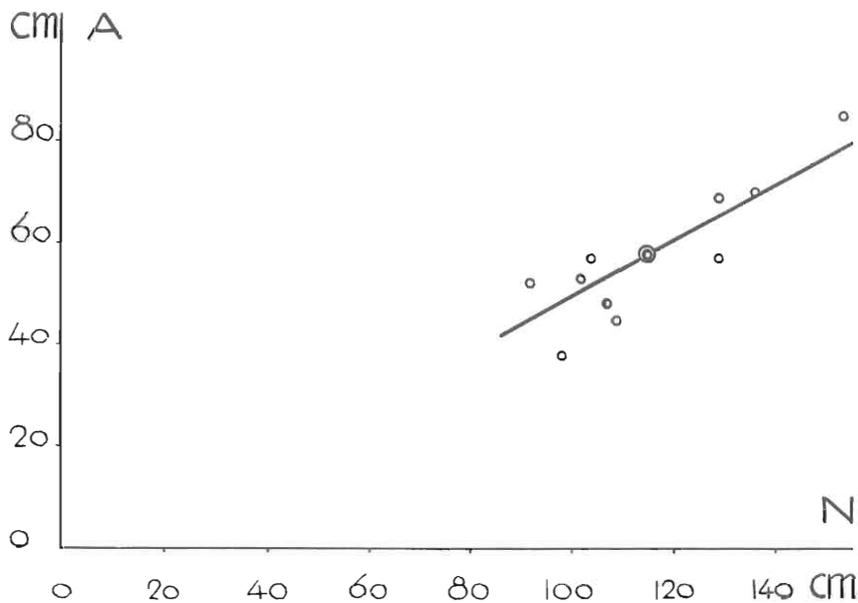


Fig. 59/60 Beziehungen zwischen jährlichem Niederschlag und Abfluss. Abfluss A beiderorts: Langete/Lotzwil. Niederschlag N in Fig. 59 (Aufleger-Pause) gemäss Tab. 24, in Fig. 60 aus Niederschlagskarten gemäss Tab. 3.

Zu Fig. 59 (1924–68): $A = 0.66 N - 20.7$ ($r = 0.793$)

Zu Fig. 60 (1959–68): $A = 0.54 N - 5.08$ ($r = 0.794$)

In dieser Zusammenstellung aller verfügbaren Abflussfaktoren der Schweiz fallen – wenn einige Gebiete mit ausgesprochenen Sondereigenheiten unberücksichtigt bleiben – die hohen Werte aus Reuss- und Linth-Limmat-Gebiet auf.

Deutlich wird andererseits, dass die Mittellandflüsse fast durchwegs relativ tiefe Abflussanteile aufweisen, was teils auf Konto Grundwasser zu buchen ist, das nur in wenigen Fällen mengenmässig soweit bekannt, dass es im Abfluss einberechnet ist. Die Grössenordnung des Unterschiedes zeigt sich wie folgt für die Langete:

Langete, ohne Grundwassereinbezug	Abflussfaktor AF = 0.50
mit Grundwassereinbezug	Abflussfaktor AF = 0.61

Nehmen wir den alten Wert der Thur als eher über der oberen Grenze für Alpenvorlandgebiete an, so stufen sich diese mit Abflussfaktoren AF = 0.50–0.70 ein. Nach WILHELM (1966) und andern Autoren gelten für Mittelgebirge AF = 0.30–0.50, für Flachländer AF = 0.30–0.40. Die alte KELLERsche Zahl lautet für Mitteleuropa AF = 0.65; der WUNDTsche Punkt für die Erde liegt bei AF = 0.36.

Unsre Zusammenstellung (Tab. 1) erbringt für alpine Verhältnisse die folgenden Zahlen:

Hochgebirge	Abflussfaktor AF = 0.77 (0.70–0.90)
Gebirgsvorland und Mittelgebirge	Abflussfaktor AF = 0.54 (0.40–0.60)

Für die Schweiz ermittelten wir als Durchschnitt der 51 Untersuchungsgebiete (Tab. 1) einen Abflussfaktor AF = 0.72. Dieser Wert stimmt überein mit denjenigen, die WÄLSER früher auf anderem Wege errechnete (aus Niederschlagskarte und Abfluss der Gesamtgebiete).

Die nachstehenden Abflussfaktoren aus verschiedenen Erdzonen mögen das Bild ergänzen, wobei diese Werte teils schwer überprüfbar sind, da sie ältern oder Angaben aus zweiter und weiterer Hand entstammen. Sie sollen hier bloss als Vergleichs- und Faustzahlen aufgefasst sein und den weitem Rahmen zu Kolonne AF der Tab. 1 bilden.

Abflussfaktoren (Abfluss/Niederschlag)

Isar, München	0.59
Po, Ponte Lagoscuro	0.67
Donau, Orsava	0.40
Seine, Paris	0.33
Karpathenflüsse	0.55
Wolga	0.44
Jenissei	0.60
Jangtse	0.46
Hwangho	0.16
Brahmaputra	0.62
Mekong	0.22
Nil	0.04
Kongo	0.23
St.-Lorenz-Strom	0.34
Ohio	0.40
Colorado	0.11
Rio de la Plata	0.36
Amazonas, Manaos	0.45
Mündung	0.30

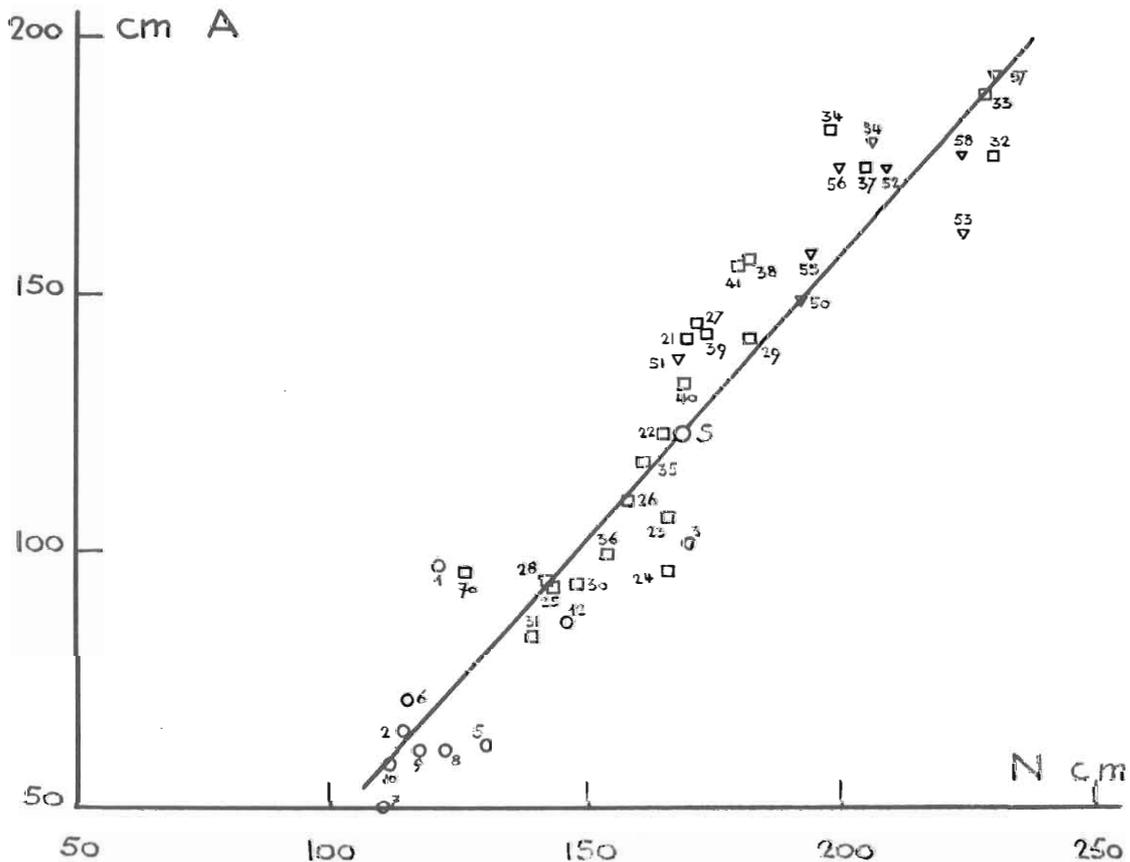


Fig. 61 Abflussfunktion von 40 schweizerischen Flussgebieten gemäss Tab. 1: Abflusshöhe A in Funktion der Niederschlagshöhe N.

$A = 1.114 N - 65.13$ (cm); $r = 0.94$. Kreis: Alpenvorlandgebiet, Quadrat: Alpennordhang, Dreieck: Alpensüdhang (Nr. der Stationen gemäss Tab. 1)

Überblick über die zu Vergleichen benützten *Abfluss-Funktionen* (Werte in cm); teils in Fig. 4:

Rappengraben, Wasen	A = 0.86	N - 46	BURGER, 1954
Sperbelgraben, Wasen	A = 0.71	N - 38	BURGER, 1954
Langete, Lotzwil	A = 0.54	N + 7	BINGGELI, 1974
Magliasina	A = 1.17	N - 66	GYGAX, 1948
Onsernone	A = 0.86	N - 10	KISTLER, 1954
Rovana	A = 0.998	N - 34	HIRSBRUNNER, 1959
Bavona	A = 0.67	N + 11	REIST, 1960V
Lucomagno-Brenno	A = 0.79	N + 31	BINGGELI, 1961
Verzasca	A = 0.99	N - 38	GRÜTTER, 1967
Schweizer Flüsse	A = 1.11	N - 65	BINGGELI, 1974
Alpine Flüsse	A = 0.91	N - 24	RASTRELLI, 1938
Alpine Flüsse	A = 0.85	N - 14	BRENKEN, 1960

Schliesslich seien die Langetewerte noch wie folgt in einen grössern Rahmen eingeordnet: Aus der Übersicht in Tab. 1 wurde für 40 schweizerische Untersuchungsgebiete die Beziehung Niederschlag/Abfluss bestimmt. Mit dieser Korrelation wird versucht, eine derartige quantitative Zusammenstellung über die hydrologisch-bilanzmässigen Verhältnisse der Schweiz vorzunehmen, soweit es die heutigen Zahlen ermöglichen. Dabei erweist sich die lineare Abhängigkeit als recht eng; $r = 0.94$ (Fig. 61).

Entlang der Regressionsgeraden lassen sich von unten nach oben folgende Abschnitte unterteilen: 1. Der zusammenhängende Schwarm der Mittellandflussgebiete weist leicht unterdurchschnittlichen Abfluss auf (Abfluss-Faktor AF ca. = 0.50). 2. Dasselbe trifft, noch vermehrt, für die unter dem Schwerpunkt S liegenden Punkte der untern nordalpenseitigen Gruppe zu (Aare-Rhein), dessen AF ca. = 0.65 beträgt. 3. Über dem Schwerpunkt folgt die obere Gruppe der Flussgebiete auf Alpennordseite mit deutlich überdurchschnittlichem Abfluss (Reuss-Linth-Limmat; AF ca. = 0.80). 4. Der obere Abschluss wird gebildet vorwiegend durch den weitgestreuten Punktschwarm der Tessiner Flussgebiete, deren Abfluss wiederum etwas über dem Mittel liegt (AF i. allg. über 0.80).

5.2. Relationen Niederschlag/Abfluss der Monatswerte

Dass die monatlichen Niederschlagsmengen nicht die entsprechenden Abflüsse bedingen, ist – wegen der teils unerfassten Retentionen, z.B. in Form von Schneerücklagen – verständlich. Tab. 25 und Fig. 62 belegen, dass gerade gegensätzliches Verhalten herrscht: Dem Niederschlagsmaximum steht niedriger Abfluss gegenüber. Die Schneeschmelze ist entscheidend. Allgemein divergieren vom Frühjahr bis in den Sommer die beiden Bilanzgrößen, da in der Vegetationszeit eine starke Evapotranspiration wirksam ist.

Tab. 25: Langete 1959–68. Niederschlag und Abfluss, monatliche Verteilung

mm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
N	97	67	90	87	114	100	120	140	94	66	83	102
A	58	54	64	56	56	46	40	48	41	39	43	50

Ausgehend von den monatlichen Abflussfaktoren zeigte WALSER (1954), dass für Mittellandflüsse im allgemeinen in den Monaten Dezember bis April 70–100% des Niederschlags abfließen, in den Monaten Juni bis September zwischen 30 und 40%.

1959–68 mittlere Abflussfaktoren der Langete:
 Sommerhalbjahr (IV–IX) AF = 48%
 Winterhalbjahr (X–III) AF = 62%

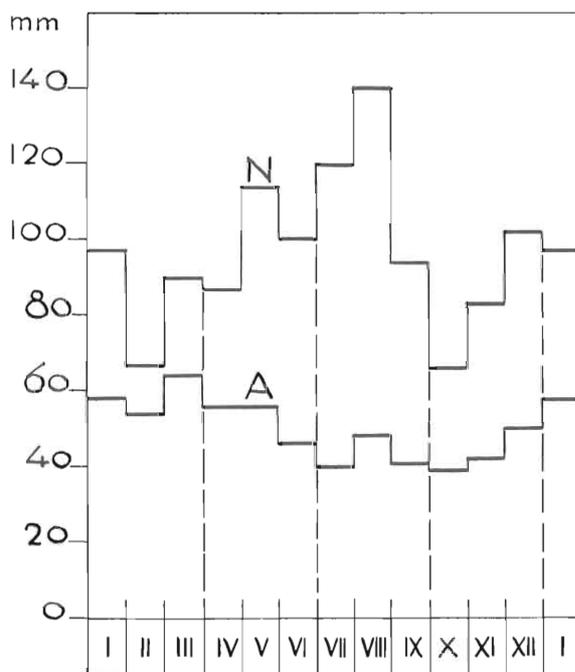


Fig. 62 Langete 1959–68 Monatsmittel von Niederschlags- und Abflusshöhe

5.3. Einzelniederschläge und ihre Hochwassermengen

Was wir heute vorlegen können, ist die detaillierte Untersuchung von 12 Niederschlagsfällen und der zugehörigen Wasserführung der Langete. Gegenwärtig allerdings sind verschiedene Pluviographen neu im Betrieb, die in Bälde eine viel intensivere Darlegung dieser Sachverhalte ermöglichen werden.

Bei der Erfassung der hier zu besprechenden Niederschläge waren wir zu einem Teil auf glückliche terminliche Umstände angewiesen, da nur ein Pluviograph zur Verfügung stand und die Totalisatoren im allgemeinen bloss monatlich abgestochen wurden. Dazu konnten die Tageswerte der MZA-Stationen St. Urban, Herzogenbuchsee, Affoltern i. E. und Luthern beigezogen werden. Für 12 Fälle waren die Zahlen genügend, um aus einer Niederschlagskarte den Gebietsniederschlag errechnen zu können.

Dabei handelt es sich durchwegs um kürzere und zumeist stärkere Regen. Die Hauptdaten, auch der Abflussgrösse, enthält Tab. 26. Darin setzten wir der bessern Lesbar- und Vergleichbarkeit halber die Intensität in der Einheit mm/h (nicht mm/min).

Leicht zu erkennen ist nach einer ersten Durchsicht der Tab. 26, dass ein *komplexes Zusammenspiel* verschiedenartiger Faktoren die Abflussresultate schwer erfassbar und vergleichbar macht: Höhe und Dauer der Niederschläge, damit ihre Intensität und ihr Charakter, aber auch der zu Beginn des Abflussanstieges zu verzeichnende Pegelstand des Flusses und besonders die Bodenverhältnisse wirken als Hauptagenten auf Form und Ausmass des Abflussvorganges.

Die Berechnung des jeweiligen Abflusszuwachses, der Hochwasserwelle, die in wissenschaftlicher und praktischer Hinsicht vorab interessiert, wurde aus der Dreiecksfläche über der Trockenwetterlinie bestimmt. Das *interimistische Grundwasser* ist also dabei eingeschlossen.

Als interimistisches Grundwasser (unechtes Grundwasser nach SCHRÖDER, 1950) bezeichnen wir den Teil des Niederschlagswassers, der nur kurzfristig in Zusammenhang mit der Hochwasserwelle aus dem Fluss ins sehr oberflächennahe Grundwasser eintritt und noch während dieser wieder zurückwechselt und mit ihr zum Abfluss gelangt. Dieser «*Interflow*» kann auch dem Basisabfluss zugeordnet werden (so üblich im US GEOLOGICAL SURVEY).

Ausgangspunkte unsrer Untersuchung der Beziehungen zwischen einzelnen Niederschlägen und ihren Abflusswellen sind die Niederschlagszahlen der zehnjährigen Messperiode, wo für unser Gebiet eine grosse Variationsbreite von Einzelniederschlägen vorliegt, so dass auch sehr extreme Werte einbezogen werden können. Was die Intensitäten (Linie V) betrifft, so reichen jene der Kolonnen 7, 8, 12 bereits an $N_i = 0.5 \text{ mm/min}$, was für die Alpennordseite beträchtlich ist. Der Charakter der untersuchten Niederschläge (VI) ist vorwiegend jener von gewittrigen, wenigstündigen bis eintägigen Starkregen.

Was nun den Abflussvorgang betrifft, so fällt der initiale *Pegelstand* der Langete (Lotzwil) kaum ins Gewicht, da er – ausser in Kolonne 2 – durchwegs in derselben Grössenordnung sich bewegt. Spitzenanstieg und Dauer der Hochwasserwelle (IX, X) sind weitgehend durch die Niederschlagsdauer gegeben, wenn nicht – wie bei 1 – die Niederschläge stark abnehmen. Die *Abflussmasse* der Hochwasserwelle (XI), praktisch von besonderer Bedeutung, ist logischerweise weitgehend durch die verursachende Niederschlagsmenge bedingt. Ähnliches gilt für den *Spitzenabfluss*.

Die *grösste erfasste Hochwasser-Abflussmasse* (2 Mio m³) macht 3.5% des mittleren Jahresabflusses der Langete aus, doch dürften für die gemessenen Extremhochwasser Werte bis zu 10% anzusetzen sein. FRIEDRICH (1948) gibt für deutsche Flüsse folgende Zahlen:

Neckar/Plochingen	7.3%
Main/Schwerfurt	8.8%
Oder/Scinawa	12.8%

Eine gewisse Einheitlichkeit liegt beim *6-Stunden-Abfluss* (XII) vor: Für alle Niederschlagshöhen resultiert, dass 6 Stunden nach Ende Niederschlag rund die Hälfte der gesamten Hochwasserwelle das Gebiet verlassen hat.

Mittlere 6-Stunden-Abflüsse:

Langete	46%
Magliasina (GYGAX, 1948)	75%
Brenno del Lucomagno (BINGGELI, 1961)	65%

Zahlreiche Vergleichszahlen, allerdings handelt es sich mit Ausnahme derjenigen aus dem Magliasina-Gebiet (GYGAX, 1948) fast durchwegs um Einzelwerte, liefert die Literatur über den *Abflussfaktor der Hochwasserwelle* (XIII). Mitgeteilt werden Zahlen von einigen bis fast 100%.

Das Mittel der Langete (14%) liegt deutlich unter den vorhandenen Vergleichszahlen, die zumeist ungleich grössern Flussgebieten zugehören, wobei diese Zahlen fast nur von grossen Hochwassern stammen, wo die Langete auch bei 30% aufweist. Nach PARDÉ (1954) und den Zahlen in KELLER (1960) liegen die Faktoren europäischer Flüsse zwischen 30 und 80%. (Im selben Grössenraum bewegen sich z. B. auch die Appalachen-Flüsse. Der Jangtsekiang erreicht bei völlig gesättigtem Boden 75%.) Die Flüsse der mediterranen Region weisen geringere Werte – bis 30% – auf, im Sommer oft nur 3–8%.

Tab. 26. Langete 1959–68. Hochwasseranalyse: Einzelniederschläge und ihre Abflusswellen (d. h. Hochwassermengen)

I Datum	22. 9. 68	13. 1. 62	11. 6. 63	13./14. 6. 63	8./9. 7. 67
II Niederschlagshöhe mm	65	45	41	30	29
III Niederschlagsmasse Mio. m ³	7.5	5.2	4.7	3.5	3.3
IV Niederschlagsdauer h	23	14	17	19	5
V Niederschlagsintensität mm/h	3	3	2–3	1–2	6
VI Niederschlagscharakter	starker Landregen	sehr starker Regenfall	Gewitterfolge	starker Landregen	Gewitter
VII Ausgangs-Pegelstand PNP = 500 m/M	0.60	0.71	0.48	0.64	0.58
VIII Abfluss-Maximum (Spitze) m ³ /s	30	36	17.2	6.7	4.9
IX Anstieg bis Spitze in h	14	17	19	21	6
X Dauer Abflusswelle h	89	81	119	100	30
XI Abflussmasse des Zuwachses (Welle) Mio m ³	1.5	2.0	1.6	0.52	0.12
XII Abflussmasse 6 h nach Niederschlagsende % von XI	53	46	28	40	45
XIII Abflusszuwachs in % der Niederschlagsmasse (Abflussfaktor der Hochwasserwelle)	20	40	34	15	3.6
XIV Normalisierungszeit nach Ende Niederschlag in h	68	67	96	75	19
XV Bemerkungen (Klima- und Bodenverhältnisse usw.)	Ergiebiger Tagesniederschlag im ganzen Gebiet; Überschwemmung Boden gutteils ungesättigt	Schneeabfluss nach Niederschlägen, Boden gefroren, grosse Überschwemmungen	Verschiedene Gewitter, sich unmittelbar folgend, Boden ungesättigt, Überschwemmungen	Ergiebiger, landregenartiger Tagesniederschlag, Boden gesättigt nach Hochwasser vom 11. 6. 63	Isolierter Guss, Boden gutteils ungesättigt

Abfluss-Faktoren von Hochwasserwellen (-mengen)

Langete (Lotzwil)	14 %
Magliasina (M. d'Aranno)	6.9%
Brenno del Lucomagno (Campra)	4.3%
Po (Ponte Lagoscuro)	55 %
Garonne (Toulouse)	64 %
Donau (Wien)	42 %
Moldau (Prag)	57 %
Chatanooga (Appalachen)	20 %
Massatayan Greek (Long Island)	1.5%
Colorado (Texas)	19 %
Austin (Bingham)	52 %
Cottonwood R. (Kansas)	91.3%

	10. 6. 63	18. 6. 66	15. 7. 67	11. 1. 62	2./3. 7. 68	20. 6. 66	28. 5. 68	Extremwerte (und Mittel)
	26	24	14	9	8	7	6	65 6
	3	2.8	1.6	1	0.9	0.8	0.7	7.5 0.7
	8	1	0.5	12	3	3	0.25	23 0.25
	3	24	28	0.75	3	2	24	28 0.75
	längerer gewittriger Niederschlag	starker Gewitterguss	kurzer Gewitterguss	landregen- artig	Gewitter	Gewitter	Gewitter	
	0.48	0.56	0.58	0.55	0.53	0.59	0.60	0.71 0.48
	6.1	8.8	7.4	5.4	2.4	3.6	3.7	36 2.4
	10	3	2	15	3	5	2	21 2
	46	44	19	42	14	41	10	119 10
	0.35	0.27	0.065	0.18	0.02	0.065	0.02	2 0.02
	44	34	66	50	64	34	50	66 28 (46)
	12	10	4	18	2.4	8	3.1	40 2.4 (14)
	32	37	12	68	6	32	4	96 4
	Kleines Vorhochwasser zu 11. 6. 63, Boden gutteils ungesättigt	Isolierter Guss, Boden gutteils ungesättigt	Isolierter Guss auf ungesättigten Boden, nach wöchiger Schönwetterperiode	Schnee! Kleines Vorhochwasser zu 13. 1. 62; Boden gefroren	Kleinste Abflusswelle, Boden ungesättigt	Boden gutteils gesättigt, nach Hochwasser vor 2 Tagen	Sehr kleines Hochwasser, Boden ungesättigt	

Schliesslich bleibt als besondere Grösse zu erwähnen die *Normalisierungszeit* (XIV): Grössere Hochwasser erreichen im Langetegebiet 3–4 Tage nach Niederschlagsende wieder ihre normale Abflusshöhe. Für den Lukmanier-Brenno mit Karstregime liegen die Zahlen von 2 Hochwassern im selben Raum. Im Gebiet der Magliasina fand GYGAX (1948) für Niederschläge $< 2 \text{ h} = 2 \text{ Tage}$, für solche $> 2 \text{ h} = 4 \text{ Tage}$ (Mittel).

Grosse Regenfälle ($> 50 \text{ mm}$) innerhalb eines Tages haben allgemein Spitzen $> 30 \text{ m}^3/\text{s}$ und damit stärkste Katastrophen-Hochwasser zur Folge; je Jahrzehnt ist etwa *ein* solches zu verzeichnen. Die gefürchtetsten sind jene, die bei völlig gesättigtem oder insbesondere bei gefrorenem Boden (Nr. 2, Tab. 26) auftreten. Überschwemmungen zur Folge haben aber schon Abflüsse mit Spitzen $> 15 \text{ m}^3/\text{s}$ (Niederschlag pro Tag $> 40 \text{ mm}$).

Bei diesen grossen Hochwassern ist die Dauer der Abflusswelle entsprechend lang: 3–5 Tage. Es resultiert eine Abflussmasse des Zuwachses von 1–2 Mio m^3 , und auch der Abflussfaktor ist hoch, etwa $\frac{1}{3}$ der Niederschlagsmenge gelangt zum Abfluss.

Tagesniederschläge von 20–30 mm rufen Abfluss-Spitzen von 5–10 m^3/s hervor, die Wellen-Dauer sinkt auf 1–3 Tage; der Abflussfaktor geht sehr deutlich zurück auf 10–15%. Die Normalisierungszeit für landregenartige Intensitäten beträgt noch immer 3 Tage, für Güsse aber 1–1½ Tage.

Hohe Intensitäten (um 0.5 mm/min) können auch bei mittelgrossen Niederschlagshöhen (10–30 mm pro Tag) noch Hochwasser mit Spitzen um 10 m^3/s zur Folge haben, sogar auf ungesättigtem Boden.

Kleine Einzelniederschläge zwischen 5 und 10 mm bedingen Abflusshöhen, die an der Grenze der als Hochwasserstände zu bezeichnenden liegen (4–5 m^3/s), wobei die Intensität bei Grössen 0.5–0.05 mm/min kaum mehr ins Gewicht zu fallen scheint.

Der Abflussfaktor dieser kleinen Wellen ist sehr gering, d. h., der Boden vermag rasch $\frac{1}{10}$ des Niederschlagswassers zu verdauen. Bei völlig gesättigtem oder gefrorenem Boden aber kann doch der Faktor noch gegen 20% ansteigen.

Bei kleinen Wellen weist die Normalisierungszeit grosse Differenzen auf: Über gesättigtem oder gefrorenem Boden erreicht die Langete den normalen Abflusszustand nach 1–3 Tagen, wogegen bei aufnahmefähigem Untergrund bereits nach einigen wenigen Stunden.

5.4. Grundwasser

Vom interimistischen Grundwasser des Vorkapitels (Interflow) wird in der Folge nicht mehr gesprochen; betont sei nur noch, dass es sich kaum vom übrigen (sog. «echten») trennen lässt. Wir zählen alles Wasser unter der Erdoberfläche, stamme es von versickerten Niederschlägen oder aus Oberflächengewässern, zum Grundwasser schlechthin. Im engern Sinne ist es jenes der wassergesättigten Bodenzone, das die Kiesauffüllungen der Sohlentäler sehr langsam und mit einem deutlichen Wasserspiegel durchfließt.

Hier hat uns das langfristige, tiefere Grundwasser zu beschäftigen, wobei wir unterscheiden:

- a) periodisches Grundwasser (das im Jahreslauf aus oberflächennäherem Grundwasser in den Fluss austritt; base flow in USA)
- b) permanentes Grundwasser (Wasser der tiefern Regionen, wovon selten und dann erst nach langem unterirdischem Durchfluss austritt).

Gleich zu Beginn ist es uns ein Anliegen, *Schutz und Pflege des Grundwassers* das Wort zu reden; denn es ist stark gefährdet. Im folgenden ist zahlenmässig zu belegen, wie gross der Rückgang in unserem Untersuchungsgebiet ist, das für viele des Mittellandes stehen kann. Doch können wir in unserem Falle nicht nur die Spiegelsenkung angeben (Fig. 109, 110, Karte 9.2.), sondern auch den mengenmässigen Rückgang, da der grösste Teil des Grundwassers im Gebiet Brunnmatt-Roggwil an die Oberfläche tritt.

Die grösseren Gemeinden und Industrieunternehmen des Langetegebiets nutzen Grundwasser und sind teils auf Gedeih und Verderben damit verbunden. Wenn aber wie bis anhin die Entwicklung der Landwirtschaft, der Kanalisationen und der direkten Grundwassernutzung weitergeht, so werden binnen absehbarer Jahre diese wertvollen öffentlichen Bodenschätze für unsere Gegend nicht mehr in genügender Menge verfügbar sein. Es muss dann in kostspieliger Aufbereitung Flusswasser beigezogen werden. Und die Verschmutzungsgefahren haben wir überhaupt noch nicht in Rechnung gesetzt.

5.4.1. Grundwasserneubildung

Figur 63 gibt wieder, dass der Grundwasserstrom des Langetentals bei Rohrbach als gutteils geschlossen gilt, was auch in der neuen «Hydrogeologischen Karte» von JAECKLI (1967) im Atlas der Schweiz verzeichnet ist. Für die *Bildung des Grundwassers* kommen daher in Betracht:

- a) Niederschlag im allgemeinen
- b) Grundwasserströme Langete-, Bleienbach- und Bützbergtal
- c) Zufluss von Oberflächen- und Quellwasser der Talhänge
- d) Infiltrat von Flusswasser
- e) Infiltrat von Wässerwasser

Heute wird von allen zuständigen hydrologischen und geologischen Fachleuten erkannt, dass das letztere (*Grundwasserspeisung* durch Wasser des Wässermattensystems) von eminenter, stellenweise von entscheidender Wichtigkeit für die Grundwasserbildung ist.

Die mittlere *Durchflussmenge* von Grundwasser im Langetetal wurde von uns für die Jahre 1959–1968 und das Profil bei Lotzwil zu 24 000 l/min errechnet. Im Bericht COLOMBI/CSD (1973) ist für die letzten Jahre (Profil ARA Lotzwil) ein Betrag von 10 bis 15 000 l/min angegeben.

Auf der andern Seite zehren nach der «Hydrogeologischen Karte» 1967 im Atlas der Schweiz am Grundwasser des Langetentals *sechs kleinere Fassungen* zwischen Rohrbach und Langenthal, eingezeichnet das zugehörige Ursenbachtal.

5.4.2. Grundwasser-Regionen, Überblick

Die Übersichtskarte Fig. 63 zeigt die *Grundwasserfelder* um Langenthal:

- a) Haupt-Grundwassergebiet Hard-Roggwil, das sich bis Mündung Langete/Roth erstreckt, worein münden

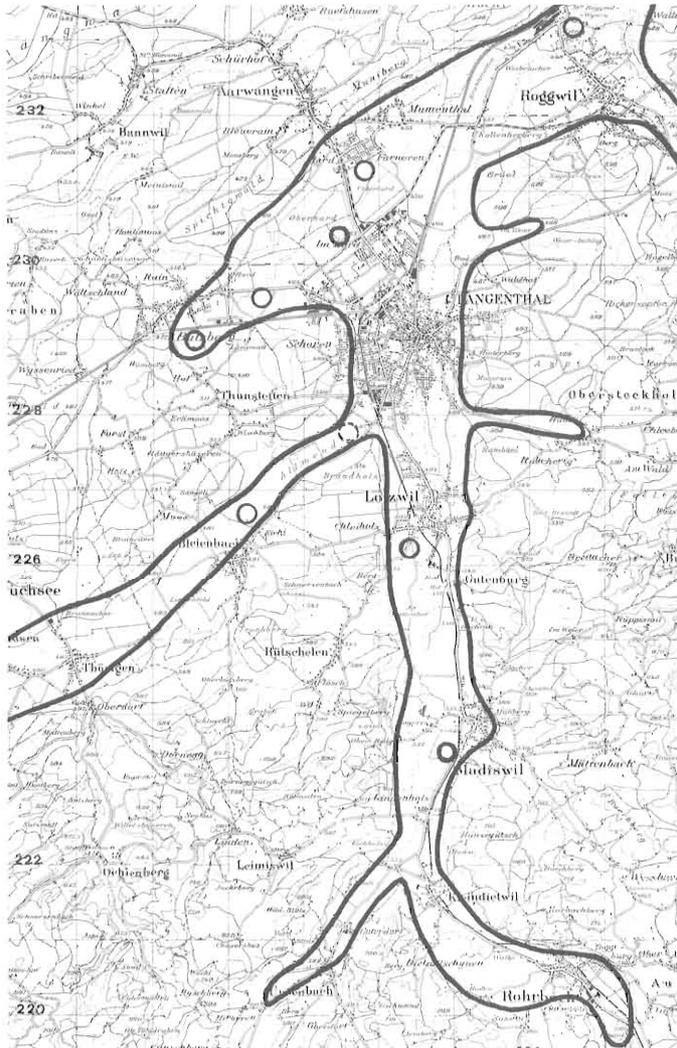


Fig. 63 Die Grundwassergebiete des mittlern und untern Langetentals. Kreise: Gemeinde-Fassungen. Nach Landeskarte 1 : 50 000

- b) Grundwasser-Strom Rotthal (St. Urban)
- c) Grundwasser-Strom Seitenarm von Bützberg
- d) Grundwasser-Strom Trockental Wynigen–Bleienbach–Langenthal
- e) Grundwasser-Strom Langetetal ab Rohrbach.

Für unsere Untersuchung spielen eine wesentliche Rolle die Grundwassergebiete des Langete- und Bleienbachtals, der Hard-Ebene im N von Langenthal und deren Zusammenhänge, insbesondere was das mengenmässige Erfassen des Grundwasserstroms im Tal der Langete betrifft. Denn die Bestimmung von dessen Anteil in der hydrologischen Bilanz des Untersuchungsgebietes war ein Hauptziel. Die Rechnung wird möglich durch zahlreiche Sondierungen, letztlich aber durch den speziellen Umstand, dass angenähert die Gesamtmenge des Grundwassers in den Aufstössen der Brunnmatt (Roggwil) zutage tritt und gemessen werden kann, was im einzelnen nachstehend darzulegen ist.

5.4.3. Das Grundwasserbecken von Langenthal

Dieses hauptsächliche Grundwasservorkommnis unserer Gegend, wovon die Gemeinden Thunstetten-Bützberg, Aarwangen, Langenthal und Roggwil wie auch eine ganze Reihe von Industrien nutzen, wurde verschiedentlich im Detail untersucht und beschrieben, so von HUG (1918 und 1945), GYGAX/

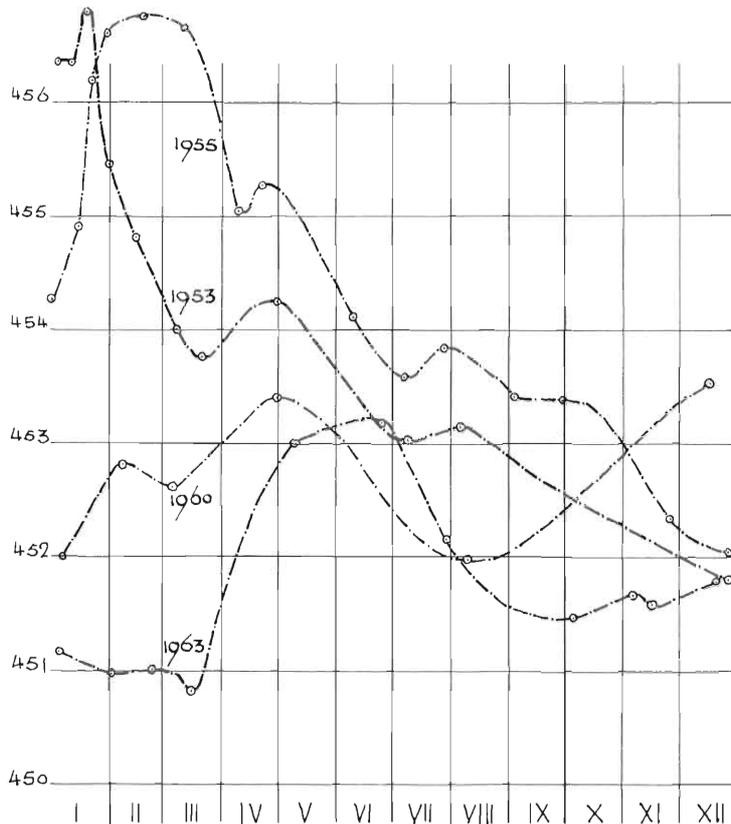


Fig. 64/65 Grundwasser-Ganglinien ausgewählter mittlerer Jahre für 2 Mess-Stellen des Grundwasserbeckens von Langenthal. Fig. 64 (Aufleger-Pause): Hard, Langenthal; Fig. 65: Bützberg

HUEGI (1946) und SCHMASSMANN (1957). Deshalb, und insbesondere auch im Blick auf die laufenden eingehenden Studien, u. a. von LEIBUNDGUT (1974) die für den Regionalplanungsverband Oberaargau neue Ergebnisse erwarten lassen, fassen wir uns hier kurz.

Dieses Grundwassergebiet umfasst die Schotterebene zwischen den Molasseerhebungen von Thunstetten–Langenthal–Roggwil südseits und jenen von Aarwangen – Wynau nordseits, und zieht westlich von den Würm-Moränen bei Bützberg bis hinunter (NE) zum Zusammenfluss von Langete und Roth (vor deren Durchbruch, jetzt Murg genannt, durch den nördlichen Molassehügel nach Murgenthal). Am Aufbau sind mächtige fluvioglaziale Schotter (Rhonegletscher, Niederterrasse) und fluviale Langeteschotter beteiligt; beide fungieren als Grundwasserleiter.

Es handelt sich nach HUG (Bericht vom 10. 9. 1950) um «eines der grössten Grundwasservorkommnisse der Schweiz»; er zählte «die neue Fassung im Hard/Langenthal zu den wasserreichsten der Schweiz».

Im Vordergrund unserer Studien standen die folgenden Probleme:

1. Stellt das Gebiet, besonders im westlichen Teil, einen eigentlichen Grundwasserstrom dar, oder handelt es sich eher um ein Becken?
2. Welche Wirkung haben die Notblässe der Langete (Schotter-Durchlässigkeit)?
3. Wie gross ist das Ausmass der Spiegelsenkung?

Zu 1.: Nach den genannten Untersuchungen von HUG (1945 und 1950) und GYGAX/HUEGI (1946) ist die Grundwasserzone im W so gut wie abgeschlossen durch die Moränen von Bützberg. Wir wissen aber auch heute noch nicht genau, ob und wieviel Wasser allenfalls unter oder zwischen den Moränen durchfliesst. Nach den Sondierungen w des Moränenzirkus ist es jedenfalls höchstens eine geringe Menge.

Als wir seinerzeit (CADISCH, 1964) die Grundwasserstände der Fassungen von Bützberg – Winkel und Langenthal – Hard verglichen, stellte sich heraus, dass die Spiegel sich weitgehend koinzidiert bewegen, dass aber bei *grossem Anstieg* diejenigen von Bützberg gegenüber den Langenthalern um ca. ½ Monat *nachhinken*; der *Spiegelabstieg* dagegen erfolgt in Bützberg allgemein früher und rascher als in Langenthal. Dies erstaunt, da normalerweise ein Spiegelgefälle vom erstern zum zweiten besteht (Fig. 64/65).

Wir führen die Erscheinung auf die beiden grossen Grundwasserzuflüsse der Ebene (Langete, Bleienbach) zurück, die sich im Hard (Langenthal) zuerst bemerkbar machen und erst später, teils durch Stauwirkung, in Bützberg. Dessen Fassung liegt somit in einer Randlage des Grundwassergebiets und dieses stellt eher ein Becken dar, denn einen Grundwasserstrom.

Zu 2.: Langjährige Beobachtungen ergeben, dass die Durchlässigkeit der Hardschotter sehr gross ist. Insbesondere wurde dies immer wieder bewiesen bei der Versickerung von grossen Mengen an Oberflächenwasser (*Notablässe der Langete*), wie sie Fig. 114 für einige derartige Vorkommnisse zeigt. Dadurch wird der Grundwasserspiegel rasch um 1–5 m angehoben, fällt naturgemäss aber auch relativ rasch wieder. Diese Anreicherung des rückgängigen Grundwassers stellt also eine kurzfristige «Sanierung» dar (Zufuhr 1–2 Mio m³). Eine dadurch erfolgende qualitative Gefährdung des Grundwassers halten wir für gering, und jedenfalls ist bisher nie ein «Fall» aufgetreten: Einerseits wird das verschmutzte Flusswasser der Langete im ersten «Aschutz» des Hochwassers noch durch das normale Unterlaufbett abgeführt, und die braunen Hochfluten sind unser sauberstes Langetewasser! Andererseits ist nach Bau der Kläranlagen die nötige Besserung des Langetewassers in Sicht. Und schliesslich sind bis heute keine in Zusammenhang mit den Hochwasser-Ablässen stehende Ölunfälle aufgetreten.

Zu 3.: Das Ausmass der *Spiegelsenkung* für das Hard-Grundwasser beträgt in den letzten 30 Jahren 1–2 m und steht gegenüber andern Gebieten gemäss Fig. 109. – Für den Grundwasserstrom des Langetetals können wir die Verminderung indirekt über die rückgängigen Erträge der Quelfassungen Madiswil (Grundwasseraufstösse, Fig. 110) mitteilen.

5.4.4. Das Grundwasserquellgebiet von Roggwil

Hier interessieren besonders Grösse und Entwicklung der *Grundwasserquellen von Roggwil*, wo sozusagen das gesamte Grundwasser des Beckens von Langenthal an die Oberfläche gelangt. Sie werden seit über 50 Jahren beobachtet und untersucht.

Diese Aufstösse werden durch verschiedene hydrogeologische Umstände verursacht: 1. Mit der Entfernung vom ehemaligen Gletscherrand nimmt der Gehalt an Feinmaterial im Schotter zu und verringert die Kapazität des Grundwasserleiters. – 2. Die Mächtigkeit des gesamten Schotterkörpers nimmt gegen NE ab, d. h. die Molassesohle (Stampien und Aquitan) besitzt hier ein bedeutend geringeres Gefälle (2.5‰) als die Geländeoberfläche (9.0‰). Die Zahlen beziehen sich auf die Strecke Pumpwerk Hard/Langenthal (Oberkante 464.5 m ü. M.; Molasse in – 25.3 m, also 439.2 m ü. M.) bis Brunnmatt–Roggwil bei Zufluss Brunnbach/Bergbach (434 m; Molasse in – 3.45 m, also auf 430.5 m ü. M.) und stützen sich auf eine ganze Reihe von Sondierbohrungen. Das heutige Tälchen Mumenthal-Station Roggwil/Wynau, eine fluvioglaziale Rinne entlang der Molasseschwelle gegen die Aare zu, weist auch im Molasse-Untergrund eine leichte Rinne auf, die als Sammelader der Grundwasserzone spielt. Hier beobachten wir die zahlreichen Quellen, sei es an Terrassenanschnitten oder als Aufstösse im Talgrund. Um die 80% der Gesamtmenge tritt hier an die Oberfläche. Stellenweise dürfte hier der Molasseuntergrund rückläufiges Gefälle haben (Stauquellen). – 3. Verschiedenerorts zwischen Mumenthal und dem Zusammenfluss von Langete/Roth sind die Schotter fast bis auf die Molasse durch fluvioglaziale und fluviale Wirkung angeschnitten. An diesen Terrassenhängen treten in verschiedener Höhe, auf lokalen Grundwasserträgern, wie am Fuss, Schichtquellen aus, die im Gebiet von Roggwil grösstenteils gefasst sind. Die schönste und hauptsächlichste Quellserie dieser Art liegt an den Terrassenhängen nördlich von Roggwil, zwischen Pt. 454 Gruenholz und der Rothbrücke bei Chülperg (ne Pt. 448.6). Hier tritt der Grossteil des restlichen Grundwassers zutage (vergl. Karte 9.2.).

In den genannten Gebieten sind bis heute eine erkleckliche Anzahl von Quellen abgegangen oder haben ihren Ertrag stark reduziert. Nach Messungen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft betrug die

Abflussmenge der Brunnmatt-Austritte im Jahre 1916 80000 l/min (1.3 m³/s). Die Terrassenquellen östlich davon werden für diese Zeit mit 0.4 m³/s geschätzt (SCHMASSMANN, 1957). HUG gibt für 1949 total 1.3 m³/s an und SCHMASSMANN (1957) für Januar 1956 1.0 m³/s (Brunnmatt) und 0.2 m³/s (Terrassen Roggwil) an. Wir bestimmten 1968 einen mittleren Erguss von gesamthaft 0.9 m³/s. Über die kürzlich eingesetzten Limnigraphenmessungen und deren Zahlen wird LEIBUNDGUT demnächst berichten.

5.4.5. Die Grundwasserströme in Langete- und Bleienbachtal

Da von diesen beiden schottererfüllten Sohlentälern die Hauptmenge der obgenannten austretenden Grundwasser stammt, kommt kurz auch das zweitgenannte zur Sprache, obwohl es sich ausserhalb des Testgebiets Langete befindet. Von Burgdorf zieht sich das ehemalige fluvioglaziale Gletscherrandtal der Würmeiszeit in prächtigen Talmäandern, teils als Trockental, bis Bollodingen, wo eine Bifurkation der Rinne stattfindet. Der W-Ast, weiter von der Oenz entwässert, nimmt Richtung auf die Aare (Mündung bei Berken). Der e Teil führt über Bleienbach nach Langenthal, wo er mitsamt dem Langental in die Hard-Ebene ausläuft.

Dieses Trockental ist gesamthaft länger, stellenweise auch breiter als das Tal der Langete und enthält einen bedeutenden Grundwasserstrom, der sich auch teilt. Über den östlichen Zug sind wir insofern unterrichtet, als im Dennli (150 m n Pt. 485.1) die ehemalige Grundwasserfassung der Gemeinde Lan-

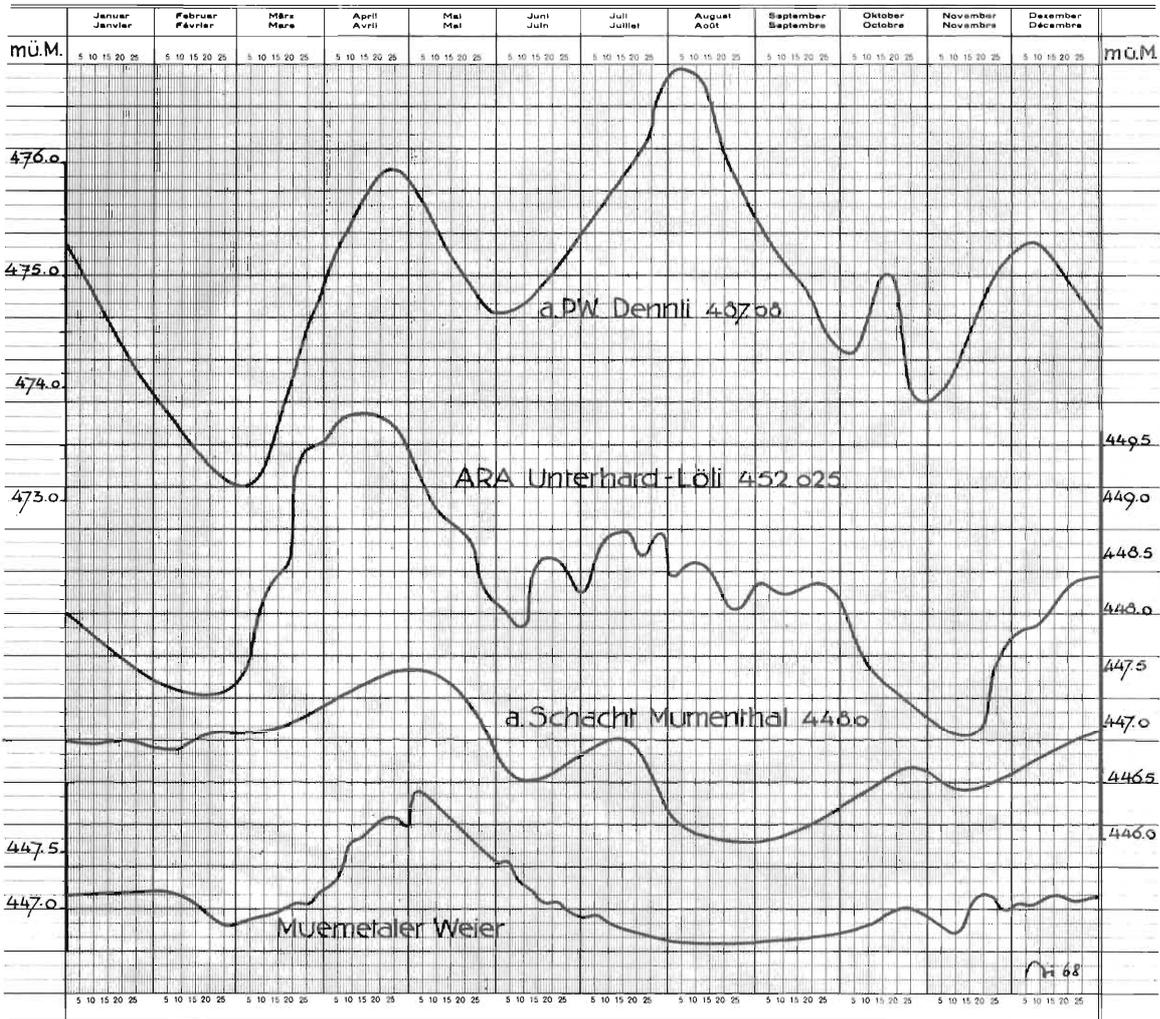


Fig. 66 Ganglinien 1964 der Wasserspiegelstände des Grundwassergebietes von Langenthal

genthal liegt, wofür die entsprechenden Sondierungen vorgenommen wurden, vorweg durch HUG (1945), der diesen Grundwasserstrom als bedeutend taxierte. GYGAX und HUEGI (1946) setzten dagegen zumindest dessen Abfluss nordwärts in die Hard-Ebene als relativ gering ein.

Im Blick auf die Übereinstimmung der Pegelkurven Dennli und Hard betrachten wir eine den grundwasserführenden Schichten gemässe Grundwassermenge Richtung N als vorhanden (Fig. 66). Im Dennli wurde die Molasse in –28 m (459 m) Tiefe angefahren. Die Schotter darüber enthalten 2 Haupt-Grundwasserleiter, getrennt durch lehmig-feinsandige Lagen. (Das Ganze ist abgedeckt durch seitlich eingeschwemmte Aquitanlehme, was Sauerstoffarmut des Grundwassers, damit Mn- und Fe-Ausfällung und deshalb die Schliessung der Fassung zur Folge hatte.)

Während die Profilfläche der Dennlischotter also mächtig ist, liegen die Verhältnisse im Langetetal/Lotzwil eher umgekehrt. Die aus den seismischen, geoelektrischen und Bohrungs-Sondierungen der letzten Jahre resultierenden Erhebungen lassen eine mittlere Tiefe der Talfüllung von bloss 6 m errechnen.

Schon HUG (1945) war bekannt, dass «der eigentliche wasserführende Schotter nur in einer Mächtigkeit von wenigen Metern ausgebildet ist». Stellenweise reicht die Molasse bis –3.5 m unter Terrainoberkante. Dazu weisen auch bei Lotzwil die Schotter Verlehmung auf. Die neuen Untersuchungen ergaben, dass 2–4 m als Grundwasserleiter in Frage kommen.

5.4.6. Der Bilanzanteil des Grundwassers

Entsprechend den eben besprochenen Profilflächen von Dennli- und Langeteschotter haben wir für jenen der Langete bei Lotzwil den entsprechenden Betragsanteil an Grundwasser für die hydrologische Bilanz zu berechnen.

Wir betrachten die besprochenen Austritte bei Roggwil als Gesamtheit der Grundwasser des hier in Frage kommenden Gebiets der Hard-Ebene nördlich von Langenthal und vernachlässigen, was höchstens in geringer Menge als Grundwasser talwärts noch vorhanden ist. Andererseits postulieren wir die folgenden Kompensationen: Was in Bützberg und durch das Tälchen von Obersteckholz an Grundwasser allenfalls in unser Becken tritt, wird aufgehoben durch allfällige Abgänge bei Aarwangen (Einschnitt in Muniberg-Molassezug, ehemaliger konsequenter Langetelauf) und durch die kleine Rinne in Richtung St. Urban (Im Weier, ne Langenthal Pt. 457 bis Pt. 465, Moos). In den jüngsten Darstellungen (z. B. JAECKLI, 1967) ist der Grundwasserleiter des Beckens einzig an der letztgenannten Stelle weitergeführt.

Subtrahieren wir nun vom mittlern Erguss der Roggwiler Grundwasserquellen den Anteil Grundwasserzufluss der Talfläche unterhalb von Lotzwil (bis Hard/Roggwil-Brunnmatt 28.8 km²) sowie den Anteil des Trockentals von Bleienbach, so verbleibt für das Langetetal eine mittlere jährliche Grundwasserabflussmenge von 0.4 m³/s für die Periode 1959–68 oder eine Abflusshöhe von 125 mm.

Wir werden im Zusammenhang mit den durch den kulturlandschaftlichen Wandel einhergehenden hydrologischen Veränderungen zeigen, dass eine Verschiebung innerhalb der Bilanzmengen stattgefunden hat, vom Grundwasser- zum Oberflächenabfluss: Vor dem 2. Weltkriege dürfte bei intaktem Bewässerungssystem und entsprechend ausgedehnten Sickerflächen im Langetetal eine mittlere jährliche Grundwassermenge von 0.65 m³/s (200 mm Grundwasserabflusshöhe) vorhanden gewesen sein, heute sind es die genannten 0.4 m³/s oder 125 mm. Der dem Grundwasser verlustig gehende Abflussanteil ist jedoch nicht vermehrter Verdunstung zuzuschreiben (wie es KELLER, 1970 für die BRD errechnen konnte), sondern gelangt zum oberflächlichen Abfluss in der Langete.

5.5. Retentionen

Über Rücklage und Aufbrauch innerhalb der hydrologischen Bilanz des Einzugsgebiets der Langete machten wir bereits Angaben (Schneewasserwert für Ende 1968, Gebietsmittel = 30 mm = 3.4 Mio m³). Die Schnee-Rücklagen waren für die Einzeljahre 1959–68 sehr verschieden, aber durchschnittlich nicht sehr erheblich. – Was den monatlichen Rücklage-Aufbrauch-Haushalt betrifft, möchten wir vorsichtshalber die zahlreichen laufenden Pluviographen-Registrierungen abwarten, die im Rahmen des kantonalen Programms durch das Geogr. Institut der Universität Bern vorgenommen werden.

Hinweise auf die Retentionsmöglichkeiten unseres Gebiets geben die Trocken-Nass-Jahresfolgen und die Abflussfaktoren einzelner Hochwassermengen.

Wir führten bereits aus, dass aus Tab. 24 und Fig. 57 ersichtlich ist, wie in wohlakzentuierten *Trocken-Nass-Jahresfolgen* der Periode 1924–68 (falls nach einem trockenen zwei nasse Jahre folgen) die Abflussmenge im zweiten Nassjahr auch bei deutlich geringerer Niederschlagseinnahme nicht sinkt, sondern mit den folgenden Beträgen ansteigt (Tab. 27).

Tab. 27 Langete/Lotzwil 1924–68. Rücklagen nasser Jahre in cm

Jahr	N Niederschlag	A (Oberfl.) Abfluss	R = A-Diff. Rücklage	R von N %
1930 (31)	139.5 (130.0)	73.4 (75.1)	1.7	1.2
1935 (36)	138.5 (134.0)	61.2 (80.8)	19.6	14.0
1950 (51)	128.0 (120.5)	40.0 (59.0)	19.0	15.0
1965 (66)	147.5 (119.5)	75.0 (79.0)	4.9	3.3

In den 2 stärksten Speicherjahren der Reihe 1924–68 wurden demnach Rücklagen in der Grössenordnung von 200 mm pro Jahr geschaffen; es wurden also vom Niederschlag ca. 15% zurückgehalten und erst im nächsten Jahr in Abfluss gesetzt.

Tab. 26 ist über die Retentionsfähigkeit zu entnehmen, dass von grossen *Einzel-Niederschlägen* bei ungesättigtem Boden grosse Mengen versickerten:

22. 9. 68	N = 65 mm	AF der Welle = 20%
	Versickerung = 80% = 52 mm	
11. 6. 62	N = 41 mm	AF der Welle = 34%
	Versickerung = 66% = 27 mm	
8./9. 7. 67	N = 29 mm	AF der Welle = 3.6%
	Versickerung = 96.4% = 28 mm	

5.6. Die Landesverdunstung

Die gesamte Verdunstungsgrösse eines Gebiets setzt sich wie folgt zusammen:

$$\begin{aligned} & \text{Oberflächen-Verdunstung (Evaporation)} \\ + & \text{Pflanzen-Verdunstung (Transpiration)} \\ = & \text{Landesverdunstung (Evapotranspiration)} \end{aligned}$$

Während Biologen und Forsthydrologen die Transpiration vorab interessiert, ist für uns von geographisch-hydrologischer Hauptbedeutung die gesamte Evapotranspiration. Ihre Erfassung aber wirft Probleme auf. Mittels Lysimetern und Evaporimetern werden apparativ Annäherungs- und Vergleichswerte ermittelt.

Nur hydrologische Untersuchungen ermöglichen die (indirekte) Berechnung der Gebiets- oder Landesverdunstung: aus den messbaren Bilanzanteilen von Niederschlag und Abfluss. Für deren langjährige Reihen hebt sich das Glied (R-B) auf, d.h. Rücklagen und Aufbrauch gleichen sich aus, und in der Gleichung ist der Unterschied U (= N-A) der Landesverdunstung V_L gleichzusetzen.

Für langjährige Beobachtungsreihen: $V_L = N - A$

In Gebieten wie dem unsrigen, wo ein Teil des Niederschlagswassers als Grundwasser (GW) abfließt, ist zudem das Glied GW einzubeziehen, worauf sich die folgende Bilanz einstellt: $V_L = N - (A + GW)$.

$$\begin{aligned} \text{Langetegebiet 1959-68} \quad N &= 1150 \text{ mm} \\ &A = 580 \text{ mm} \\ &N - A = 570 \text{ mm} \\ &GW = 125 \text{ mm} \\ V &= N - A + (GW) = 445 \text{ mm} \end{aligned}$$

Im Einzugsgebiet der Langete macht demnach die mittlere jährliche Landesverdunstung $V_L = 445$ mm aus oder 39% der entsprechenden Niederschlagshöhe.

Einen Überblick über die verfügbaren schweizerischen V-Werte bietet Tab. 1, sowie die Fig. 5, wo sich die Streuung der Punkte aus den sehr verschiedenartigen Gebieten bildlich ausdrückt. Die Werte des Alpenvorlandes (1 Thur, 2 Glatt, 6 Langete, 10 Rhein/Mittellandgebiet, 13 Biber) bilden naturgemäss den oberen Abschluss.

Eine künftige Ausgleichsgerade, erstellt unter Einbezug von Werten samt Grundwasseranteil, wird mit ihrem flachern Verlauf verstärkt die alte FISCHERsche These (1936) stützen, wonach die Landesverdunstung für grössere Räume eine *Halbinvariante* darstellt. In diesem Sinne möchten wir für das nördliche Alpenvorland ein mittleres jährliches V-Intervall um 400–500 mm postulieren, für die zentralen Alpen ein solches um 200–300 mm; in ausgesprochen hochalpinen Gebieten kann die Verdunstung aber unter 200 mm/Jahr absinken.

Setzen wir zu den folgenden Werten für das ungleich grössere Deutschland (KELLER, 1961) diejenigen der Schweiz, wie sie gemäss unsrer Tab. 1 lauten, so fallen die letztern naturgemäss minder deutlich im Sinne der Halbinvarianz aus.

Deutschland

Verdunstung	$350 < V < 700$ mm/Jahr	Quotient 2
Niederschlag	$500 < N < 2000$ mm/Jahr	Quotient 4
Abfluss	$150 < A < 1650$ mm/Jahr	Quotient 11

Schweiz

Verdunstung	$150 < V < 500$ mm/Jahr	Quotient 3.3
Niederschlag	$700 < N < 2400$ mm/Jahr	Quotient 3.5
Abfluss	$200 < A < 2250$ mm/Jahr	Quotient 11

Was apparative Bestimmungen sind, so wurden beispielsweise bei Lysimeterversuchen im Limburgerhof (Oberrheinische Tiefebene) nach PFAFF und FRIEDRICH (1954) bei verschiedenen Kulturen

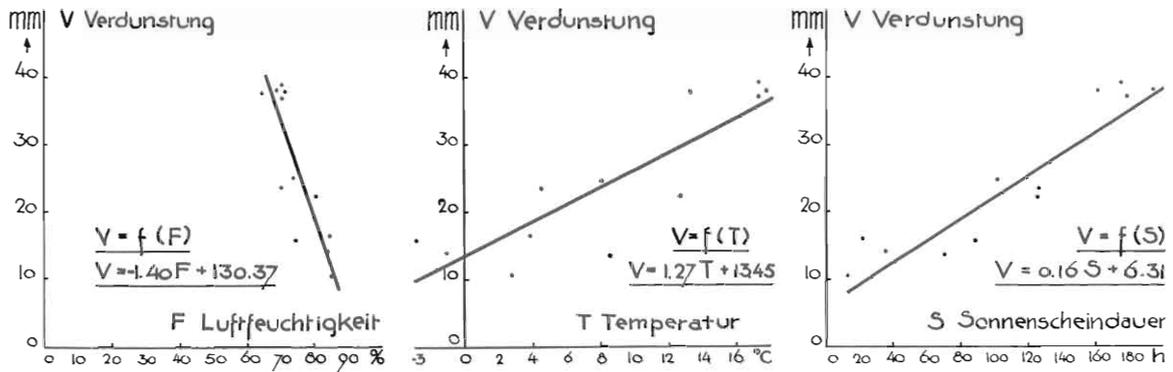


Fig. 68–70 Langenthal 1965. Beziehungen der Verdunstung zu Luftfeuchtigkeit ($r = 0.85$), zu Temperatur ($r = 0.86$) und zu Sonnenscheindauer ($r = 0.91$). Monatsmittel bzw. -summen

Auf die Abhängigkeit der evaporimetrischen Verdunstung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Sonnenscheindauer (Fig. 67–70) machten wir früher bereits Hinweise (BINGGELI, 1968).

Der Höhenabhängigkeit der V_E (PICHE) ist Fig. 71 gewidmet. Die V_E -Abnahme erweist sich im tieferen Teil des Gebiets grösser (V_E -Gradient = 7 mm) als im höhergelegenen (V_E -Gradient = 3 mm). Im Mittel beträgt die V_E -Abnahme bei 100 m Geländeanstieg $V_E = 5$ mm. Die evaporimetrische Verdunstung der Sommermonate ist also im Napfgebiet, auf 1000 m Meereshöhe, immerhin um fast 40% geringer als im Flachland auf rund 500 m. Der entsprechende Temperaturunterschied beträgt ca. 2 °C, der mittlere T-Gradient 0.4 °C (für unsere Napf-Stationen rechneten wir mit den Werten von BURGER (1954) für Riedbad).

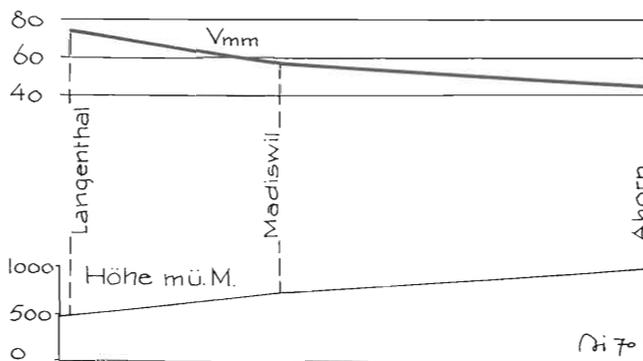


Fig. 71 Langenthalgebiet 1963–65. Mittel der Monate VI–X der mittels Evaporimeter PICHE gemessenen Verdunstung dreier Stationen in verschiedener Meereshöhe. Brunnenrain, Langenthal 485 m; Sennjöggel, Madiswil 725 m; Chipferweidli, Ahorn 1010 m

5.7. Die hydrologische Bilanz

Die quantitative Darstellung des Wasserhaushalts von Flussgebieten erfolgt mittels der Grundgleichung:

$$N = A + V \quad \text{oder} \quad V = N - A$$

$N =$ Niederschlag
 $A =$ Abfluss (desselben Zeitabschnittes)
 $V =$ Verdunstung

Diese Gleichung gilt für Jahresreihen. Denn in einzelnen Jahren wird einerseits Wasser gespeichert (Rücklage, R), insbesondere im Winter in Form von Schnee, andererseits von frühern Niederschlägen aufgezehrt (Aufbrauch, -R), z. B. während der Schneeschmelze im Frühjahr. Die Bilanzgleichung für Einzeljahre oder kürzere Zeitabschnitte erhält demnach die Gestalt:

$$N = A + V \pm R \quad \text{oder aufgelöst wieder nach der zumeist gesuchten Grösse } V$$

$$V = N - (A \pm R)$$

Über die Grösse R wurde in den vorangehenden Kapiteln gehandelt. Was weiter zur Theorie der Wasserhaushalts-Gleichungen betrifft, sei verwiesen auf GYGAX (1948) und BINGGELI (1961). Im Blick auf die folgenden Haupt-Bilanzzahlen des Langetegebiets ist zu beachten, dass die zugehörige Gleichung nur für hydrologisch geschlossene Gebiete gilt.

Für Fälle, wo die Grösse Abfluss A noch Zuschüsse enthält (Fremdwasser) oder nicht alle aus dem Niederschlag des Gebietes stammenden Abflüsse beinhaltet (Verluste in Fremdgebiete), sind die Bilanzgleichungen entsprechend zu erweitern, wie wir es in der eben erwähnten Arbeit zeigten (1961).

Bei Einbezug von Fremdwasser F und Grundwasser GW (in Rücklage R!) lautet die vollständige Bilanzgleichung sowohl für Einzeljahre wie Jahresreihen:

$$N = A + V \pm R \pm F \quad \text{oder}$$

$$V = N - (A \pm R \pm F)$$

Langete 1959–68 (115 km²). Werte der hydrologischen Bilanz

	Jahresmittel (gerundete Zahlen)	
Abfluss A (Oberflächen-A)	580 mm	50%
Grundwasser GW (unterird. A)	125 mm	11%
Total Abfluss (A+GW)	705 mm	61%
Verdunstung V	445 mm	39%
Niederschlag N	1150 mm	100%

Diese *vorläufigen Zahlen* werden nach einer längern Beobachtungszeit zu überprüfen und zu modifizieren sein. Die früher besprochenen Werte der Untersuchungsreihe 1924–68 (worin die Niederschlagszahlen minder gut belegt sind) weichen im Mittel nur unwesentlich von den obenstehenden des Jahrzehnts ab (Tab. 24, Fig. 59 und 60).

Zu Vergleichen und als Übersicht stellen wir den vorstehenden Bilanzzahlen der Langete diejenigen grösserer Gebiete der Schweiz gegenüber, wie sie gemäss den 51 Flussgebieten der Tab. 1 berechnet werden können.

Wenn wir in die Beziehungsgleichung Stationsniederschlag N_s /Gebietsniederschlag N_G gemäss Tab. 4 und Fig. 14 die Niederschlagswerte für 1924–68 einsetzen, so resultieren folgende Zahlen:

appr. Gebietsniederschlag: 119.5 cm
 Abflusshöhe: 55.2 cm
 Abflussfaktor A/N 0.46

Demnach verzeichnet diese Periode, vergleichen wir mit 1959–68, höhern Niederschlag und tiefern Abfluss. Heute, d. h. 1959–68, gelangt mit einem Abflussfaktor AF = 0.50 also *mehr* Niederschlagswas-

ser zum Abfluss als früher (1924–68). Anders ausgedrückt: Setzen wir für den Niederschlag 1959–68 den Abflussfaktor 0.46 ein, so erhalten wir einen Abfluss von $A = 53$ cm; gemessen wurde $A = 58$ cm. Die Differenz ist bilanzmässig als Fehlbetrag beim Grundwasser zu verbuchen. Um so viel weniger gelangt heute zur Versickerung ins Grundwasser, insbesondere als Folge des verringerten Versickerungsareals in Wässermatten.

Tab. 28: Hydrologische Bilanzen schweizerischer Regionen gemäss Tab. 1

Einzugsgebiete	Niederschlag cm	Abfluss cm	Verdunstung cm	Abflussfaktor A/N
1. Alpenvorland (15 Gebiete)	124	67	57	0.54
2. Alpen, Nordseite (26 Gebiete)	168	128	40	0.76
3. Alpen, Südseite (10 Gebiete)	205	163	42	0.80
4. Alpen (36 Gebiete von 2. und 3.)	178	138	40	0.77
5. Schweiz (51 Gebiete von 1.–3.)	162	117	45	0.72

5.7.1. Bilanz-Typen

Aus den bisher ermittelten Werten für den Wasserhaushalt schweizerischer Flussgebiete der Alpen und ihres Vorlandes sollen einige allgemeine und spezielle Typen herauskristallisiert werden. Der Tab. 1 wurden 11 Einzugsgebiete entnommen und in Fig. 72 dargestellt. Da nicht nur allgemeine Mischtypen herangezogen wurden, kommt die akzentuierte *Mannigfalt* alpinen Wasserhaushalts deutlich zum Ausdruck.

So tritt die *Verdunstung* – die klassische Halbinvariante – in grosser relativer Unterschiedlichkeit auf: Denn gemäss der Gleichung $V = N - A$ gehen Abfluss-Sondereigenschaften wie Fremdwasser störend in die Grösse V ein. Hier wäre demnach die Grösse $U = \text{Unterschied } (U = N - A \neq V)$ am Platze.

Als sozusagen «normale» und *repräsentative Typen* dürfen Langete (für Mittellandverhältnisse), Allaine (Jura, dazu siehe unten), Aare (Alpen Nordseite), Verzasca und Magliasina (Alpensüdabdachung) bezeichnet werden.

Vergleichen wir das nur unbedeutend höherliegende Emmegebiet mit dem der Langete, so resultiert für das erstere eine scheinbar hohe Verdunstung, entsprechend ein geringer Abfluss. Hier bleibt aber wie vielfalls der wesentliche Grundwasseranteil im Abflussbetrag unberücksichtigt – im Gegensatz zur Langete.

Im niederschlagsreichen Sperbelgraben des *Napfberglandes* (Regenfänger) führt die fast totale Bewaldung zum tatsächlich hohen V -Wert (hohe Transpiration und Interzeption im Nadelholz, dazu V -Erhöhung im reliefierten Gelände, da der Niederschlag in Horizontalprojektion gemessen wird). – Schwer zu beurteilen bleibt schliesslich, inwieweit die Bilanzgrössen durch Nebel einflüsse verunsichert werden, ob vor allem in der Tat im Walde dadurch der Niederschlag erhöht wird (nach SCHUBERT, 1937 in der Letzlinger Heide um 5.9% des Jahresniederschlags).

Unter anderem Vorzeichen tritt die hohe Verdunstung in der tiefgelegenen Niederschlags-Trockeninsel *Randen-Hegau* auf (Biber, Ramsen), insbesondere im Sommer, wo diese «vier- bis fünfmal grösser ist als im Winterhalbjahr» (KASSER, 1967).

Die Allaine als *Jura- und Karstfluss* zeigt dagegen im Bilanzdiagramm eine scheinbar sehr hohe Verdunstung: Hier muss ein Betrag unterirdischen Karstabflusses – aus dem Gebiet hinaus – in Abzug gebracht werden; SCHWEIZER (1970) postuliert vorsichtig einen wahrscheinlichen Abflussfaktor von 0.53 (anstelle von 0.45 in Tab. 1), wonach der Karstwasser-Verlust um 100 mm Abflusshöhe beträgt, und um denselben Wert wäre die Verdunstung als Bilanzgrösse zu vermindern.

Für *alpine* Durchschnittsverhältnisse mag die Berner Aare (Thun) stehen, für ein extrem *glaziales* Regime die Massa (Massaboden), wo nun scheinbar mehr abfliesst, als das Gebiet an Niederschlag

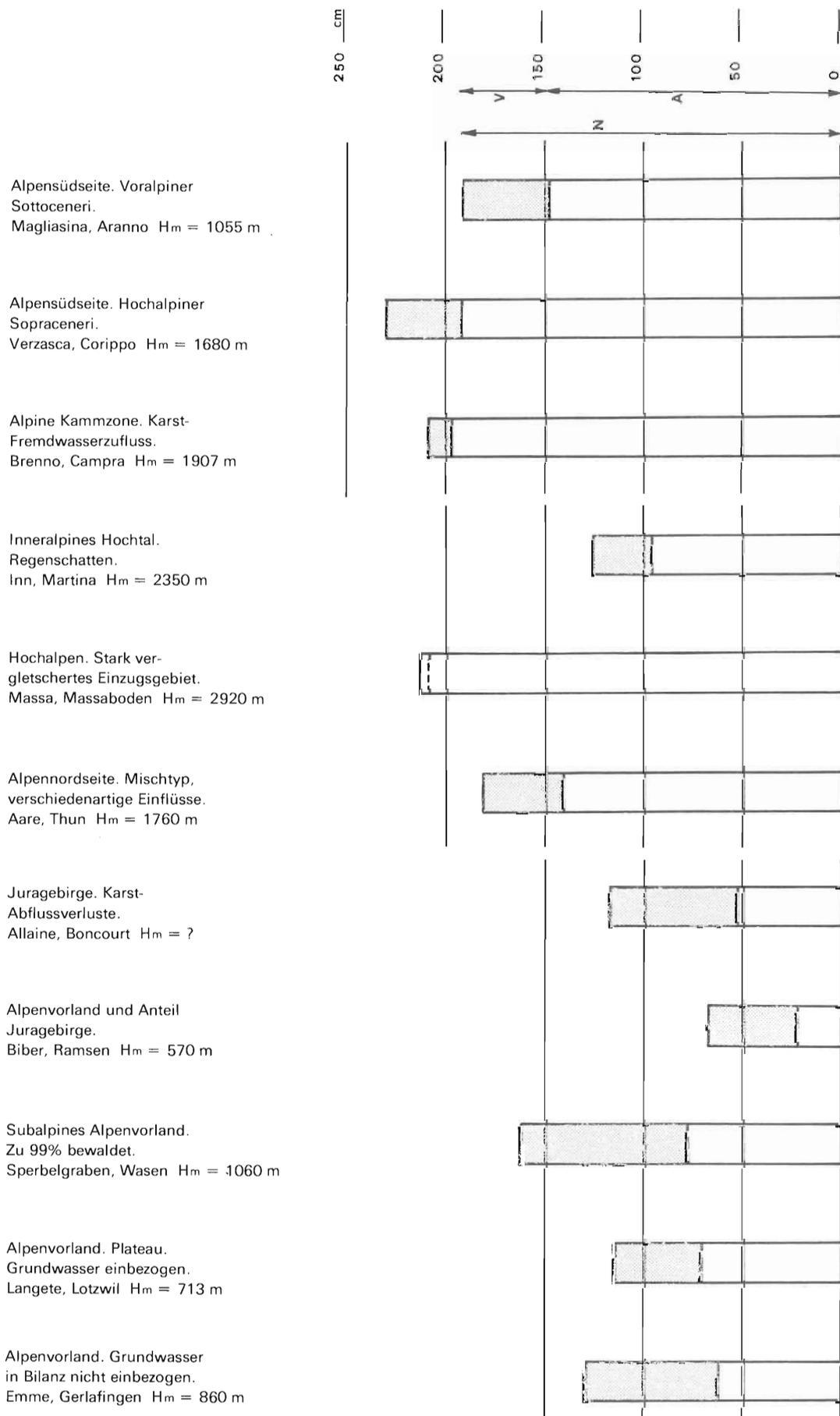


Fig. 72 Bilanz-Typen des Wasserhaushalts schweizerischer Flussgebiete. Nr. der Gebiete gemäss Tab. 1, H_m = mittlere Gebietshöhe m ü. M.

empfängt. Neben der Frage nach zeitweise verstärkter Gletscherschmelze dürfte hier, im Falle erschwerter hochalpiner Niederschlagsmessung, jene nach allfälligen Fehlbeträgen bei der Niederschlagskomponente aufzuwerfen sein.

Charakteristisch für die Bilanz eines *inneralpinen Hochtals* ist diejenige des Engadins (Inn, Martina): Einerseits stellen sich dort kontinentale Klimaeinflüsse und Niederschlags-Schattenwirkungen der Gebirgsumrahmung ein, andererseits mag durch die Massenerhebung eine leicht erhöhte Verdunstung gegeben sein.

Im karsthydrologischen Sonderfalle des Brenno del Lucomagno, Campra, muss ein Abflussüberschuss durch *Fremdwasserzutritt* von rund 300 mm jährlicher Abflusshöhe (15% des Gebietsniederschlags) in Rechnung gestellt werden.

Bezeichnend für die beiden Flussgebiete der *Alpensüdseite* ist deren bekannter Niederschlagsreichtum. Wenn wir die sehr gleichartigen Bilanzgrößen von Aare und Magliasina zur Kenntnis nehmen, muss deren sehr ungleiche Höhenlage betont werden. Nachdem wir die Bilanzverhältnisse der Magliasina als im Durchschnitt liegend und repräsentativ bezeichneten, mag immerhin die relativ zur Höhenlage geringe Verdunstung auffallen.

6. Fluviale Mineralfracht und Erosionsgrösse

Die Messmöglichkeit, die wir für die Grob-Schuttführung der Langete in Langenthal besitzen, dürfte einzigartig sein: Bei überschwemmungsgefährdender Wassergrösse wird seit eh das Überwasser durch die dazu kanalähnlich errichteten Strassen zur Versickerung in den Hardwald abgeleitet; die mitgeführte Geschiebemasse bleibt bei der dadurch erfolgenden Strömungsberuhigung und Geschwindigkeitsverringierung in den Strassenabschnitten von Löwenbrücke bis Bahnhof liegen. Nur ein unbedeutender Teil vermag weitergetragen zu werden.

Die Tonnage dieser Massen wird über ihren Abtransport hin ermittelt, da für dessen Kosten die Gemeinde Rechnung abzulegen hat. Seit 20 Jahren werden gemäss unserem seinerzeitigen Wunsche alle interessierenden Details und Werte protokollarisch festgehalten.

Die Zahlen der Geschiebeführung – die Ermittlung der Totale wird gleich erörtert – ermöglichen im Verein mit Bestimmungen von Schwebestoff und chemisch gelöster Substanz die Berechnung der gesamten Fluvialerosion, des allgemeinen Landesabtrags im Einzugsgebiet der Langete.

6.1. Geröllführung

Naturgemäss enthält die grobe Ablagerungsfracht (Geröll, Geschiebe) auch einen Anteil an Feinstoffen (Schweb). Die Geröllfunktion (Abhängigkeit zwischen Geröll- und Wasserführung) wird aber dadurch nur unwesentlich beeinflusst.

Unsre Bestimmung der Geröllfracht der Langete geht wie eingangs erwähnt vom «günstigen» Umstand aus, dass die Kanalstrassen Langenthals gleichsam die Funktion experimenteller Geröllfänge übernehmen.

Tab. 29: Langete/Lotzwil und Langenthal 1950–70. Hochwasser- und Geröllführung

Hochwasser Datum	Max. Pegel-	Abfluss-	Abfluss	Dauer	Abfluss-	Schutt-
	stand Langenthal	Spitze Lotzwil	Tagesmittel Lotzwil	Abläss Langenthal	masse Lotzwil	fracht Langenthal
	m	m ³ /s	m ³ /s	h	Mio m ³	m ³
17. 11. 1950	1,20	22–24	12,4	7	0,31	50
25./26. 11. 1950	1,35	29	18,2	18	1,18	200
11./12. 1. 1952	1,10	18–20	10,1	16	0,58	140
25./26. 10. 1952	1,10	20	12,2	8	0,35	100
11. 11. 1952	1,10	18–20	9,67	8,5	0,3	110
21./22. 12. 1952	1,20	15,1	10,2	1,3	0,05	10
26./27. 6. 1953	1,10	20–22	9,91	7,3	0,26	100
21./22. 8. 1954	1,15	16,3	6,49	17	0,35	90
27–29. 9. 1954	1,30	20	13,6	18	0,91	180
13.–15. 1. 1955	1,35	20	13,7	19,5	0,96	160
9. 2. 1955	1,15	18	10,3	4	0,15	80
27. 1. 1956	1,10	13,3	6,66	3	0,07	15
24./25. 2. 1957	1,35	28	18,5	20	1,33	220
12. 8. 1960	1,20	18,1	9,94	5,8	0,21	40
13./14. 1. 1962	1,45	36	20,1	18	1,30	240
11. 6. 1963	1,20	17,2	6,47	4	0,09	30
21./22. 9. 1968	1,40	30	13,6	16	0,78	160
3./ 4. 9. 1969	1,10	16,4	4,84	10	0,17	60
3./ 4. 2. 1970	1,20	22–25	12,9	28	1,30	190
22./23. 2. 1970	1,35	20–23	15,2	35	1,92	230
17. 8. 1970	1,10	18–21	9,36	4,5	0,15	80

6.1.1. Geröllführung einzelner Hochwasser

Wir kennen einerseits das Schuttgewicht (Geröll- oder Geschiebefracht) von 21 sehr verschieden grossen Hochwassern der Jahre 1950–70, andererseits deren Abflussmenge (Limnigraph Lotzwil; Tab. 29). Da der Notablass nur einen Teil der Hochwassermenge, das Spitzen- oder Überwasser ausmacht, ist nur der entsprechende Anteil an Schuttfracht direkt erfassbar. Was an Schutt mit dem restlichen Langetewasser den normalen Lauf nimmt, bestimmen wir mittelbar über die langjährige Kenntnis der Verhältnisse der beiden Abfluss-Teilmengen.

Was den Geschiebetrieb betrifft, war festzustellen, dass sich im kanalisiertem Bachbett bei sehr starkem Hochwasser der grösste Teil auch der groben Komponenten (um $\varnothing = 100$ mm) schwebend fortbewegt; der Versuch, mit einer Bretterbarrikade von 30 cm Höhe den Grobschutt beim Ablassstor (Kaufhaus-Schleuse Langenthal) zurückzuhalten, hatte keinen Erfolg. Dies geschieht in unserem Falle bei einer Durchflussmenge $A > 20$ m³/s und einer Wassergeschwindigkeit > 4 m/s. Dieser hohe Wert wird bei Wassergrösse im gemauerten Gerinne innerhalb des Dorfes häufig überschritten.

Die Geröll- oder Geschiebefunktionen, veranschaulicht in Fig. 73 und 74, lassen schliessen, dass erst Hochwasserabflüsse von Tagesmitteln $A_m > 5$ m³/s und von Spitzenabflüssen $A_s > 10$ m³/s Gerölltransport veranlassen. Die entsprechende benötigte Geschwindigkeit dürfte um 2.5 m/s betragen.

Auf der Suche nach einer möglichst engen Abhängigkeit der Geröllfracht von der Abflussmenge der Langete wurde sodann aus Tab. 29 die Abflussmasse in Rechnung genommen. Dabei zeigt sich, dass die quadratische Behandlung insbesondere für die kleinen Hochwasser die brauchbarsten Werte liefert.

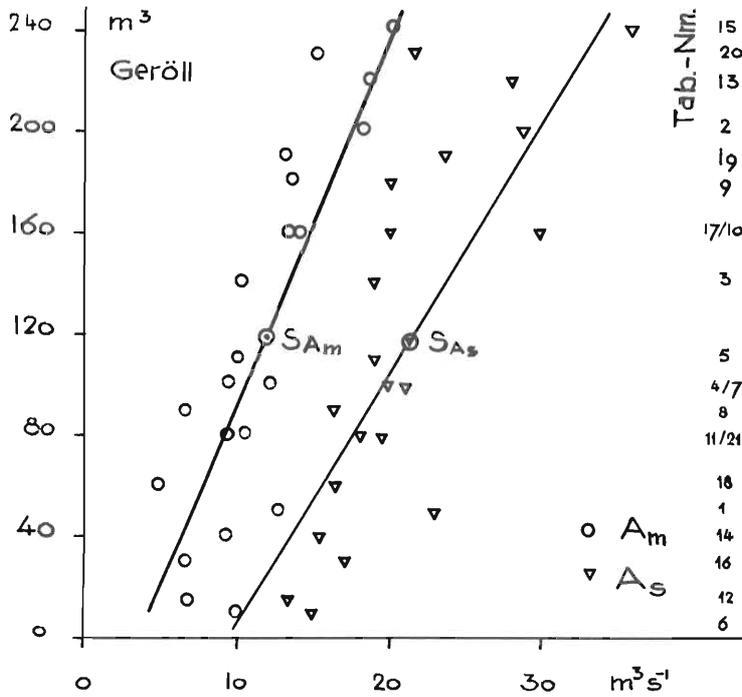


Fig. 73 Langete/Lotzwil 1950–70. Die Geröllfracht von Hochwassern in Abhängigkeit von der Wasserführung, gemäss Tab. 29.

A_m = Tagesmittel des Abflusses: $G = 14.759 A_m - 53.391$ ($r = 0.83$)

A_s = Abfluss-Spitze des Hochwassers: $G = 10.013 A_s - 93.318$ ($r = 0.76$)

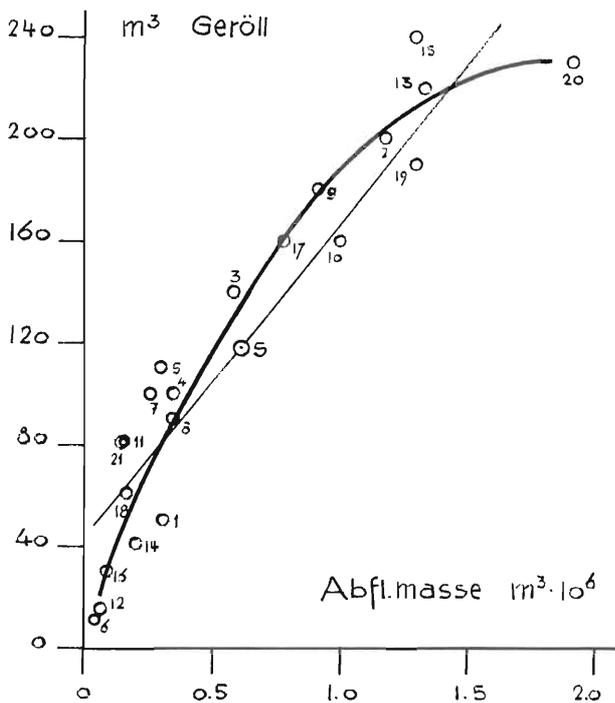


Fig. 74 Langete/Lotzwil 1950–70. Beziehungen zwischen Geröllfracht G und Abflussmasse A einzelner Hochwasser, gemäss Tab. 29. G in m^3 , A in Mio m^3 .

Gleichung 1. Grades $G = 42.204 + 125.689 A_m$ $r = 0.93$

Gleichung 2. Grades $G = 18 + 238 A_m - 67 A_m^2$ $r = 0.96$

6.1.2. Jährliche und monatliche Geröllführung

Die genannten Geröllfunktionen sind gerechtfertigt, ihre Streuung ist für solch einzelne, seltene, vielseitig abhängige Vorfälle des Naturgeschehens als günstig zu bezeichnen. Sie liefern die Möglichkeit, von den Abflusswerten aus die zugehörigen Geröllkubaturen über eine geschlossene, längere Zeitdauer zu erschliessen und derart die gesamte Geröllfracht des Flusses angenähert zu erfassen. (Tab. 30).

Tab. 30: Langete/Lotzwil und Langenthal 1950–68. Kubatur der jährlichen Geröllführung und Abfluss

Jahr	Geröllfracht m ³	Abfluss-Höhe cm
1950	500	40.0
1951	330	59.0
1952	840	68.5
1953	100	46.3
1954	880	59.3
1955	440	64.2
1956	140	57.7
1957	420	53.6
1958	500	65.0
1959	170	32.9
1960	220	56.0
1961	350	52.8
1962	480	51.9
1963	190	44.9
1964	60	38.0
1965	670	75.0
1966	570	80.0
1967	150	57.5
1968	530	68.5
Mittel	400	56.4

Die jährliche Geröllführung ist veranschaulicht in Fig. 75. Mit Bezug auf die entsprechenden Abflusshöhen beginnt die Reihe gleich mit zwei gegenläufigen Jahren, dann folgen zwei, wo die Abhängigkeit Geschiebe/Abfluss sich direkt erweist. Allgemein ist sie naturgemäss mehrheitlich vorhanden; eine starke Übereinstimmung aber war gar nicht zu erwarten, denn für die Geröllmasse sind vorab grosse Einzelabflüsse verantwortlich, die nur in Fällen mit derartiger Häufung, wie sie 1952 auftrat (5 Überschwemmungs-Hochwasser), für den Jahresabfluss relevant werden.

Tab. 31: Langete/Lotzwil und Langenthal 1950–68. Mittlere monatliche Geröllführung

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
m ³	75	67	42	13	16	13	24	34	37	7	31	41	400
%	18.7	16.8	10.5	3.2	3.9	3.2	6.1	8.4	9.2	1.8	7.9	10.3	100

Die mittlere monatliche Geröllkubatur der Langete enthält Tab. 31 (Fig. 76). Mit Abstand die grösste Menge fällt im Januar an – bei Hochwassern über gefrorenem Boden! Hohe Februar- und Dezemberwerte gehören ins gleiche Kapitel. Dem März-Abflussmaximum gehört bloss eine wenig überdurchschnittliche Geschiebefracht zu, dagegen fällt in der Tat das oktoberliche Abfluss-Tief mit der geringsten Schuttführung zusammen. In den Geröllwerten zeichnen sich insbesondere die Gewittermonate des Sommers ab, recht schön gegenläufig zum Abstieg der Niederwassermonate, deren Monatsabflussmengen durch die grossen Einzelniederschläge kaum merklich angehoben werden. Hier kommt die jahreszeitlich bedingte Verdunstung (Temperatur, Vegetation) entscheidend zur Wirkung.

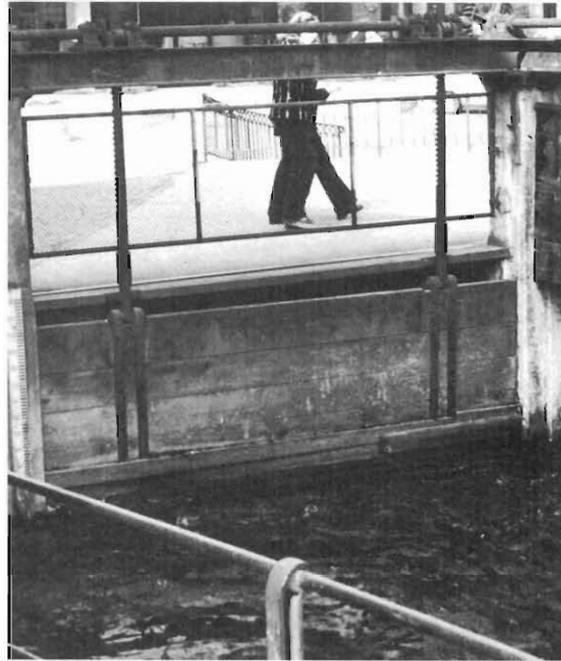


Abb. 25 Langete und Mühlebach (rechts) bei Lindenhof. Flugbild mit Schuttstrukturen, aufgenommen nach dem ausserordentlichen Hochwasser vom 22./23. 11. 1972. Aufn. Verfasser 24. 11. 1972.



26

Abb. 26 Rappengraben, Wasen. Abfluss-Station mit Geschiebefang in dem der Langete benachbarten Testgebiet A+W. Aufn. H. Scheidiger 1974



27

Abb. 27 Langenthal. Hochwasser-Schleuse und -Pegel beim Gemeindehaus. Möglichkeit der Bestimmung von Geschiebeführung bei Hochwasser-Abfluss durch die Kanal-Gassen. Aufn. Verfasser 1974

Abb. 28 Langete, Langenthal. Schwebestoff-Probenahme mittels Flaschen-Halterungsgerät A+W mit Eintrittsdüse. Aufn. H. Scheidiger 1974

Abb. 29 Feldlabor für Wasseranalysen, mit Poly-Titrationsflasche. Aufn. Verfasser 1970

28



29



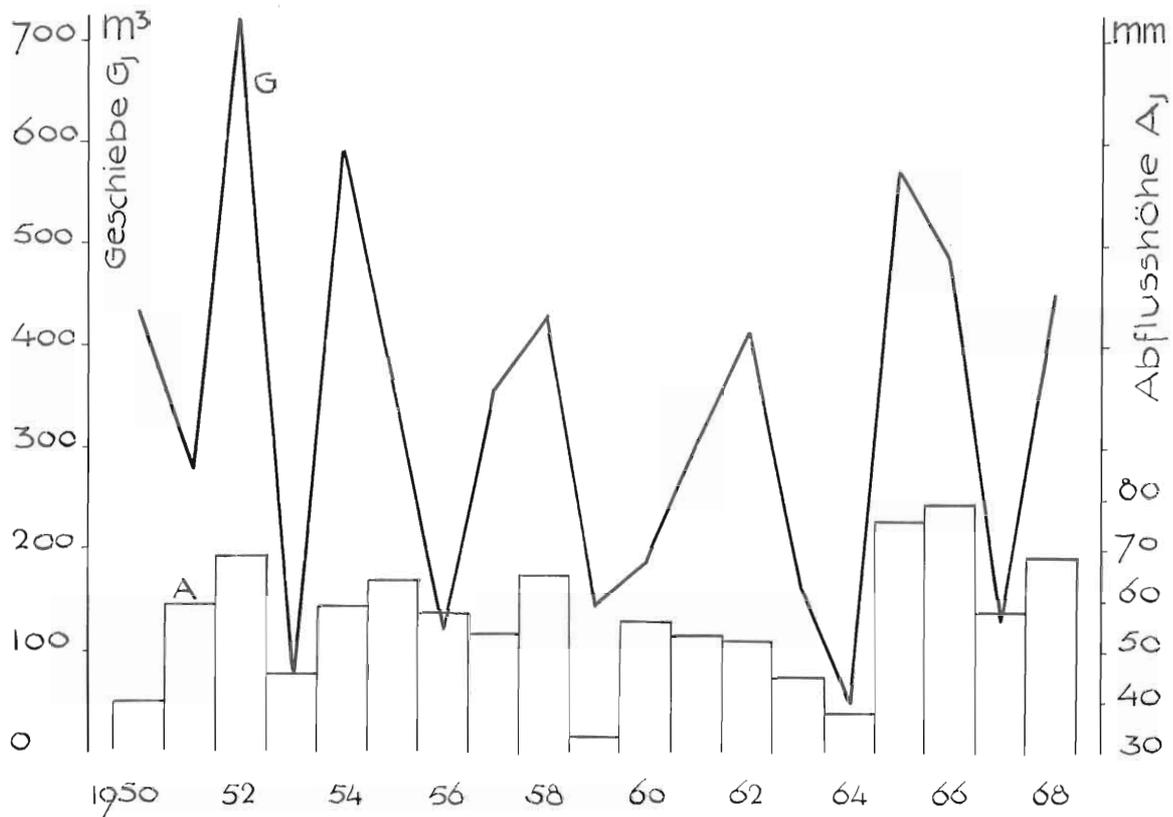


Fig. 75 Langete/Lotzwil 1950–68. Jährliche Geröllfracht und Abflusshöhe. 1952 traten 5 grosse Hochwasser auf.

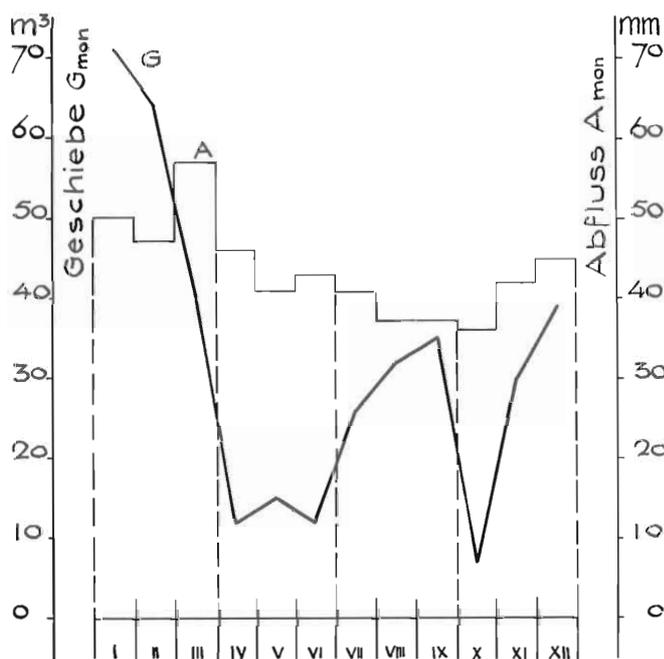


Fig. 76 Langete/Lotzwil 1950–68. Mittlere monatliche Geröllfracht und Abflusshöhe. Im Januar, wo im Durchschnitt die meisten Überschwemmungshochwasser auftreten (gefrorener Boden), ist auch die grösste Geröllfracht zu verzeichnen.

Langete 1950–68 Mittelwerte der Geröllführung

Mittlere jährliche Kubatur

400 m³

Mittlerer Geröll-Gehalt

16 g/m³

Mittlerer Abtrag durch Geröllführung (allg. Gebietserniedrigung) 0.004 mm/Jahr

6.1.3. Erosionsquantitäten durch Geröllführung

Direkte Messungen der Geröllführung sind aus vergleichbaren Flussgebieten wenige bekannt geworden. An der Aare bei Brienzwiler wurden Bestimmungen sowohl experimentell mit Geröllfängen wie mittels Deltavermessung vorgenommen (Eidg. Amt für Wasserwirtschaft; Mitt. 33, 1939). Wie die nachstehende grössenordnungsmässige Übersicht und Fig. 77 ergeben, liegt der Erosionswert der Langete weit unter denjenigen alpiner Flussgebiete, er beträgt 2–10% davon. Er liegt im Bereich der Zahl der Aare/Bielersee und im Mittelfeld der Grössen europäischer und amerikanischer Mittelbreiten ohne Hochgebirge. Minimalwerte der Erde dürften jene des Flachlandes im hohen Norden darstellen, maximale die der dortigen Gebirgszonen.

Landesabtrag durch Geschiebeführung in mm/Jahr	Flussgebiet
0.04	Maggia, L. Maggiore Kander, Thunersee Linth, Walensee
0.02	Aare, Brienzwiler
0.009	Aare, Bielersee Baye d. Montreux, M.
0.007	Rhein, Bodensee Rhone, L. Léman
0.005	Rappengraben, Wasen Sperbelgr., Kurzenei, W.
0.003	Langete, Lotzwil

Fig. 77 Mittlerer Landesabtrag durch Geschiebeführung der Flüsse in mm/Jahr

Abtrag durch Geröllführung (Grössenordnungen)

Aare – Brienzsee

0.027 mm/Jahr

Aare – Bielersee

um 0.01 mm/Jahr

Baye de Montreux – Lac Léman

Maggia – Lago Maggiore	
Cassarata – Lago di Lugano	
Linth – Walensee	um 0.04 mm/Jahr
Kander – Thunersee	
Tessin, Verzasca und Maggia – Lago Maggiore	
Rhein – Bodensee	um 0.07 mm/Jahr
Rhone – Lac Léman	
England – Frankreich – Deutschland (ohne Hochgebirge)	0.003 mm/Jahr
Mississippi – Missouri – Gebiet	um 0.005 mm/Jahr
Flachland des hohen Nordens	um 0.001 mm/Jahr
Gebirge des hohen Nordens	um 0.2 mm/Jahr

6.2. Schwebestoff-Führung

Nach geläufiger Definition stellt der Schweb jenen Teil der Materialfracht dar, der im allgemeinen ohne Berührung der Flusssohle transportiert wird; er äussert sich insbesondere in Form von Wassertrübe. Die Langete weist wie die meisten Flüsse aus unvergletscherten Quellgebieten nur bei Hochwasser eine für das Auge feststellbare Trübung auf. Die Differenzierung Geröll/Schweb/Lösungsfracht wird üblicherweise nach folgenden Korngrössen \varnothing vorgenommen:

Korngrösse K \varnothing Schweb $1 \text{ mm} > K \varnothing > 0.01 \text{ mm}$

Unsere Probeentnahmen von Langetewasser zu Schwebgehalts-Bestimmungen erfolgten oberhalb von Langenthal (Bleiche-Brücke) mittels Schöpfflasche des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft (Abb. 28), das auch in verdankenswerter Weise im Labor Papiermühle/Bern die Ermittlung der Trockensubstanz übernahm. Unserer Untersuchung liegen 144 Schwebproben zugrunde, entnommen zu verschiedenster Wasserführung in den Jahren 1966–70, bis 1968 wöchentlich, dann alle 14 Tage. In besondern Fällen (z. B. Hochwasser) wurden in kurzer Zeit Reihen von Entnahmen vorgenommen.

Eine wohl vertretbare Schwebstoff-Funktion (Schwebmenge in Abhängigkeit von Wasserführung) für die Langete vorzulegen, fällt uns vorläufig nicht leicht. Sowohl die Beziehung zum Tagesmittel wie zu den Spitzen des Abflusses erweist sich als recht schwankend.

Geringmächtige Hochwasser der Langete ($4\text{--}6 \text{ m}^3/\text{s}$) führen Schwebstoffgehalte von $50\text{--}100 \text{ mg/l}$, starke ($10\text{--}30 \text{ m}^3/\text{s}$) solche von $500\text{--}1000 \text{ mg/l}$. Die höchste gemessene Menge betrug 3014 mg/l , 3 kg pro m^3 Wasser! was dem Gehalt des Nils bei Regenzeit entspricht oder $\frac{3}{4}$ desjenigen des

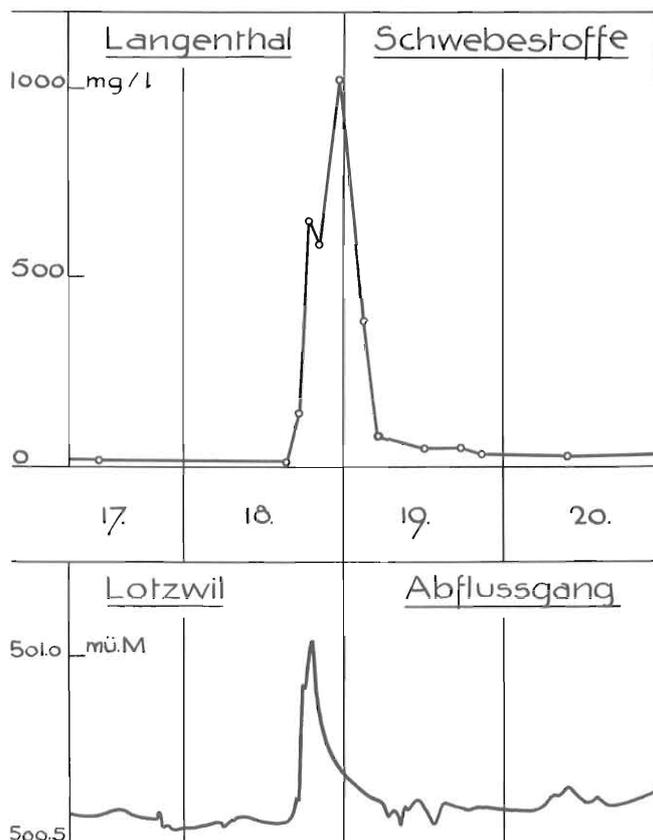


Fig. 78 Schwebestoff-Führung der Langete in Langenthal und Abfluss-Ganglinie der Langete in Lotzwil. 17.–20. Juni 1966.

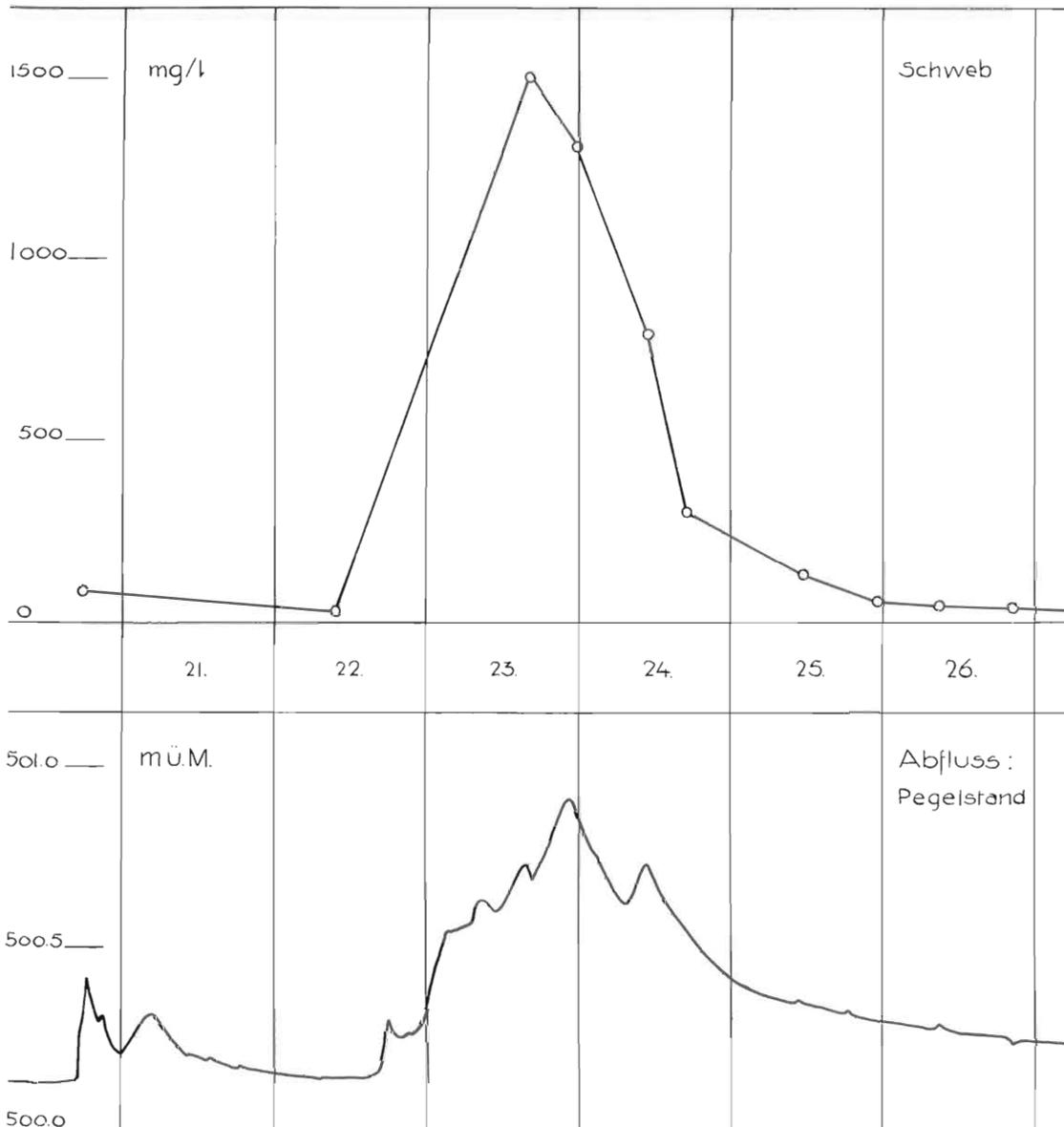


Fig. 79 Schwabestoff-Führung der Langete in Langenthal und Abfluss-Ganglinie der Langete in Lotzwil. 21.–26. Juni 1973.

Hwangho im Mittel, wo die «Soil-Erosion» besonders kräftig am Werke ist (500–9300 mg/l). Das bekannte Maximum der Langete entspricht etwa dem Schwabgehalt, der im Alpenvorland an Flüssen mit vergletschertem Einzugsgebiet ermittelt wird. Eigentliche Gletscherflüsse aber enthalten Zehn- und in Extremfällen sogar Hunderttausende von mg/l.

Der geringste Schwabgehalt betrug 5.81 mg/l. Für Niederwasserzeiten sind Gehalte um 10 mg/l üblich (5–20 mg/l). Das mittlere Schwabgewicht 1966–70 betrug 90 mg/l. (Nachfolgende Einheits-tonnagen nach v. RINGSUM, 1950; KELLER, 1961; Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, 1939).

Einheitstonnage der Schwabführung pro Jahr:

Langete (Lotzwil)	45 t/km ²	Aare (Brienzersee)	500 t/km ²
Donau (Regensberg)	30 t/km ²	Amazonas	500 t/km ²
Iller (Krugzell)	260 t/km ²	Hwangho	2500 t/km ²
Fränk. Sale (Schonderfeld)	260 t/km ²		

Als Detail der Schwebfunktion finden wir in Fig. 78 und 79 die Verläufe bei Hochwasser. Obwohl für den Durchfluss von Lotzwil nach Langenthal eine gewisse Zeit in Rechnung zu halten ist (erfahrungsgemäss sind es 20 Min.), ist das Nachhinken der Schwebespitze hinter derjenigen des Abflusses (ca. 3 Std.) als «technisch bedingt» zu betrachten, d. h. es wurde die Schwebespitze durch Proben nicht genau erfasst. – Eine statistische Abhängigkeit Schweb-/Abflussmenge, als Grundlage zur Berechnung mittlerer Abtragsgrössen durch Schwebfracht, wird in Fig. 80 und 81 versucht.

Der mittlere Schwebgang, wie ihn die Monatswerte Tab. 32 (Fig. 82) enthalten, zeigt sich als in den Extremwerten recht deutlich proportional der Wasserführung, dazwischen aber verwischt sich das Bild.

Tab. 32: Langete/Lotzwil und Langenthal 1966–68. Mittlere monatliche Schwebstoff- und Wasserführung

Monat	Schwebstoff g/m ³	Abfluss m ³ /s
Januar	93	3.25
Februar	160	3.35
März	53	3.14
April	31	2.70
Mai	36	2.76
Juni	38	2.02
Juli	4	1.69
August	95	2.55
September	149	2.38
Oktober	15	1.76
November	4	1.94
Dezember	92	2.41
Mittel	64	2.50

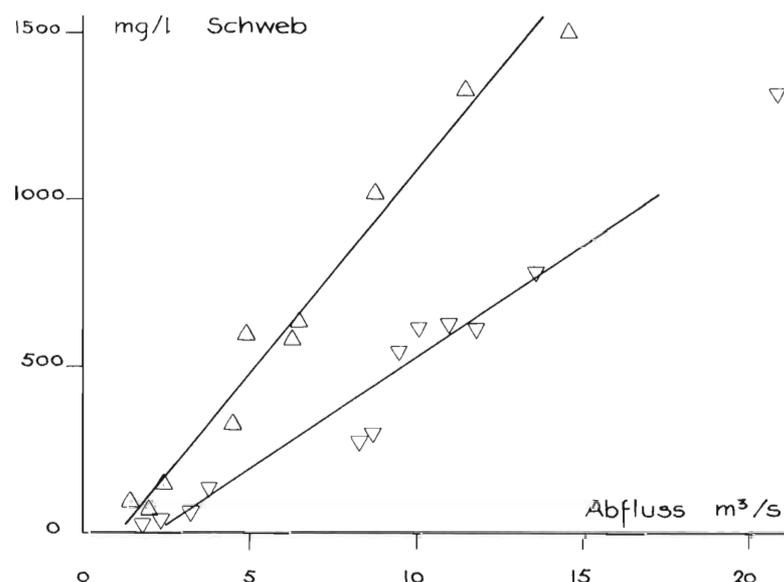


Fig. 80 Langete, Lotzwil/Langenthal, 1966–73. Schwebstoffgehalt in Abhängigkeit von der Abflussmenge (Lotzwil) für Hochwasserperioden (Schwebprobeentnahmen in Langenthal). \triangle – Signatur = 10 Werte, ermittelt bei Abfluss-Anstieg zur Hochwasserspitze. ∇ – Signatur = 12 Werte, ermittelt in absteigendem Ast der Hochwasser.

Oben im Bild Regression bei Abflussanstieg:

$$S = 119.38 A - 130.73 \quad (r = 0.99)$$

Unten im Bild Regression bei abnehmenden Wassermengen:

$$S = 67.01 A - 136.16 \quad (r = 0.98)$$

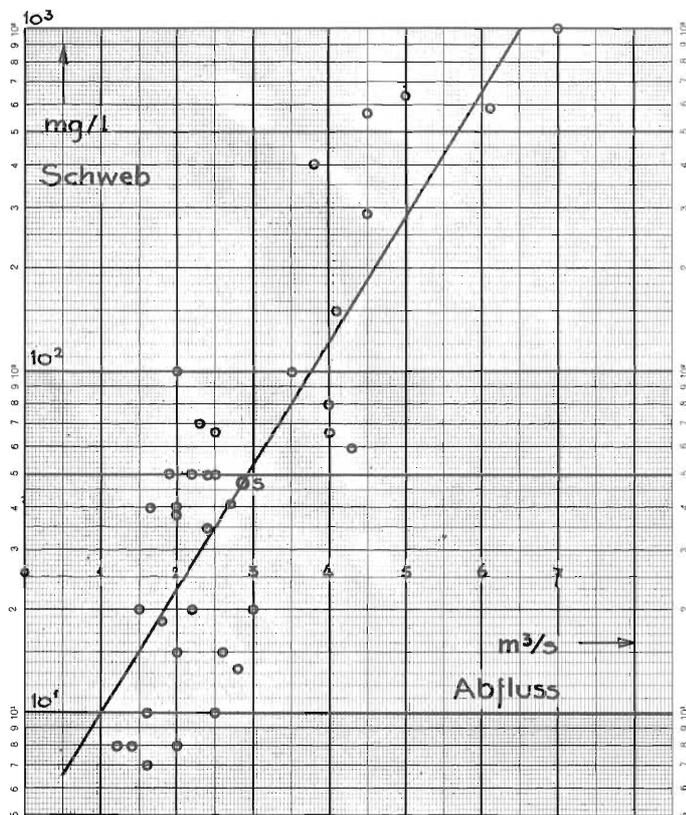


Fig. 81 Langete/Lotzwil 1966–70. Schwebestoff-Fracht in Abhängigkeit von der Abflussmenge (Tagesmittel) in einfach log. Darstellung.
 $\log S = 0.37 A + 0.63$ (mg/l) $r = 0.84$. Trotz Auswahl möglichst repräsentativer Schwebewerte (gleichmässige Wasserführung während einiger Vortage) ist die Streuung gross.

Der durch das Labor A+W durchgeführten granulometrischen Auswertung ist zu entnehmen, dass es sich um relativ feines Korn handelt; Die Korngrössenanalyse wurde an 7 Proben von Juli/August 1968 durchgeführt.

Korngrössen-Klassenverteilung	1–0.5 mm	1%
in % des Schwebgehalts	0.5–0.125 mm	7%
	0.125–0.011 mm	65%
	<0.011 mm	27%

Nach den Prozentsätzen für die 2 Grobklassen wird auch hier die von BURZ (1968) vorgeschlagene Schweb/Geröll-Grenze von 0.2 mm bestätigt.

Als mittleres spez. Gewicht der selben Proben wurde $s = 2.24$ bestimmt. Diesen Wert legten wir den Volumen- und Abtragungsermittlungen zugrunde.

Langete 1966–70 Mittelwerte der Schwebestoff-Führung	
Mittlere jährliche Kubatur	2540 m ³
Mittlerer Schwebestoff-Gehalt	90 g/m ³
Mittlerer Abtrag durch Schwebführung (allg. Gebietserniedrigung)	0.022 mm/Jahr

Vergleiche mit andern (jedoch zumeist bedeutend grössern) Flüssen des Alpenvorlandes ergeben, dass diese einen Abtrag durch Schweb von 0.005–0.04 mm/Jahr aufweisen, die Gebirgsflüsse dagegen ein ungefähr 10mal grösseres Ausmass erreichen, abgesehen von den erwähnten schwebefüllten Gletschervorflutern (Fig. 83).

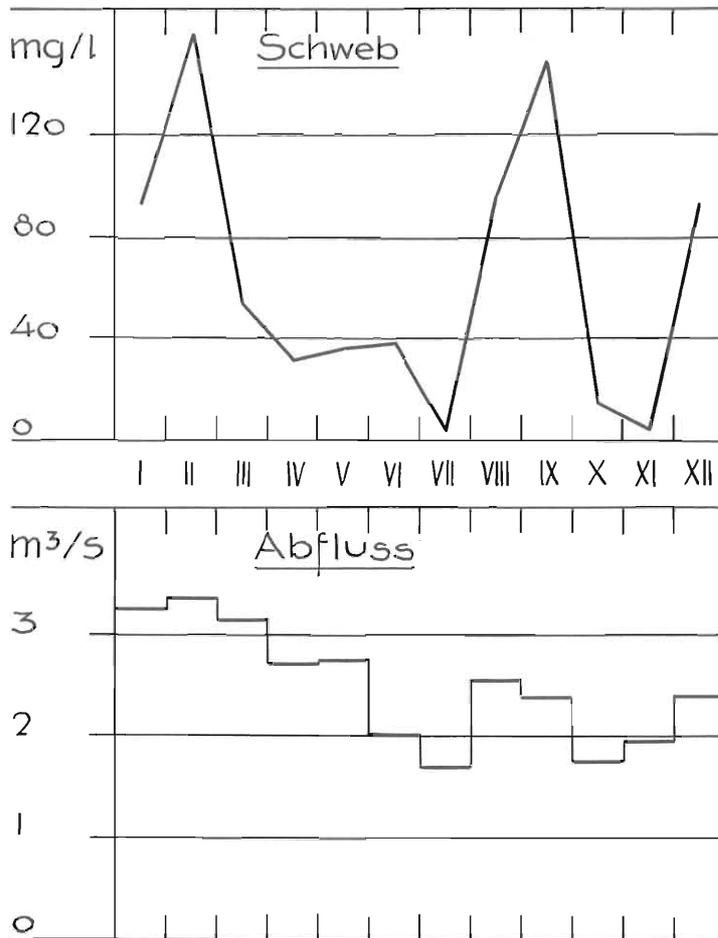


Fig. 82 Langete/Lotzwil 1966–68. Mittlere monatliche Schwebestoff- und Wasserführung

Allgemein übertrifft die mittlere Schwebführung diejenige an Geröll bei weitem, wie die nachstehenden Vergleichszahlen zeigen, wobei die Langete allerdings bloss 5–6mal so viel Schweb als Geröll aufweist; unser Fluss führt jedoch im Blick auf seinen geringen Gerölltrieb relativ viel an schwebender Substanz.

Verhältnis Schweb : Geröll

Langete/Langenthal	(Schweb 90 mg/l)	S : G = 6 : 1
Aare/Brienzersee	(260 mg/l)	9 : 1
Inn/Kufstein	(780 mg/l)	2 : 1
Mississippi (Unterlauf)	(340 mg/l)	9 : 1
Wolga/Astrachan	(50 mg/l)	500 : 1

Für das Birsgebiet (Münchenstein) teilte BARSCH 1969 einen mittlern Abtrag durch Schwebführung von 0.012 mm/Jahr mit. Die eben erschienene aufschlussreiche Untersuchung schweizerischer Flüsse durch BARBARA PETERS (1973) ergab Abtragsintensitäten zwischen 0.01 und 0.51 mm/Jahr, wobei sie in abflussreichen Jahren (1965, 1968) durchgeführt wurden und allgemein zu überdurchschnittlichen Werten führten, so für den Rhein/Ragaz zu 0.51 mm/Jahr (Aare/Brienzwiler 0.29 mm/Jahr; Lütshine/ Bönigen 0.22 mm/Jahr). Bei 0.16 bis 0.18 mm/Jahr liegen die Schweb-Abtragungen von Rhône/Brigerbad, Linth/Weesen und Rhône/Porte du Scex, unter 0,1 mm/Jahr liegen Inn Martina, Lonza/Blatten, Grande Eau/Aigle, Aare/Brugg, Stilli und Borgne/La Lurette (0.01 mm/Jahr). Was die teils deutliche Abhängigkeit von der Petrographie der Einzugsgebiete betrifft, verweisen wir auf die speziellen Erörterungen von Frau PETERS.

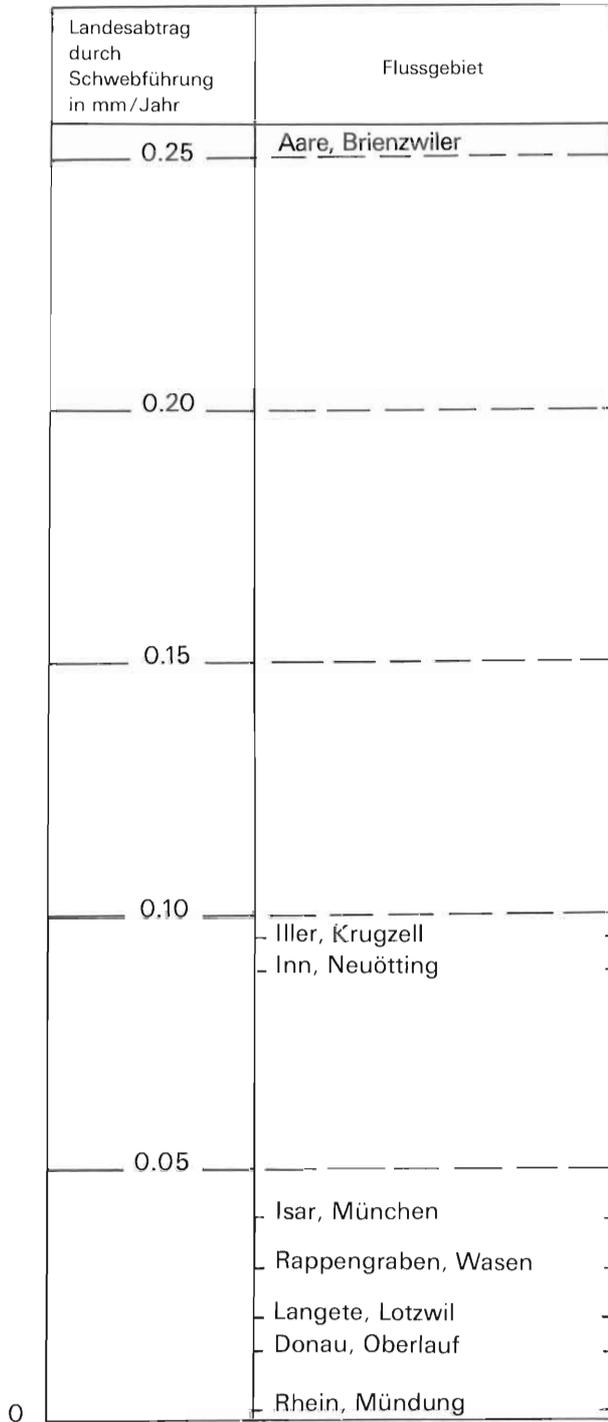


Fig. 83 Mittlerer Landesabtrag durch Schwebstoffführung der Flüsse in mm/Jahr

6.3. Lösungsführung (chemische Erosion)

Angaben über die im Langetewasser gelösten Substanzen macht Tab. 33, die wir dem Kant. Gewässerschutzlabor in Bern verdanken. Der Hauptanteil entfällt wie üblich auf die Karbonathärte; und den beiden Härten des Wassers widmeten wir über Jahre systematische Erhebungen. Um die Fehlerquelle des Siedelungseinflusses (Abwässer, Industrie) möglichst einzudämmen, verlegten wir die Probe-Entnahmestelle meistens oberhalb von Lotzwil (Gutenberg), zumindest aber oberhalb von Langenthal (Schwimmbad). Die Proben der Aare wurden beim EW Wynau in Oberwynau entnommen, (während der ersten 9 Monate an 4 Stellen, gleichmässig quer über den Fluss im Werk-Oberwasser verteilt, wobei sich fast völlige Übereinstimmung der Werte einstellte).

Tab. 33: Langete/Langenthal (Rossschwänki). Chemische Stichproben-Analysen

Datum	8.2.67	20.7.67
Zeit	15.35	15.25
Temperatur °C	5.1	17.8
pH	8.4	8.3
Trübung (100%–T)	22.5	32.7
Schwebstoffe mg/l	11.2	23.8
O ₂ -sofort mg/l	11.8	8.9
KMnO ₄ mg/l	9.9	20
BSB ₅ mg O ₂ /l	4.9	4.5
Ammoniak mg NH ₄ '/l	0.5	0.7
Nitrit mg NO ₂ '/l	0.10	0.32
Nitrat mg NO ₃ '/l	21	15
Chlorid mg Cl'/l	8	16
Phosphat mg PO ₄ '''/l	0.68	0.82
Sulfat mg SO ₄ ''/l	10	11
Karbonathärte °fH	20,5	22,0
Gesamthärte °fH	23,0	23,5
Leitfähigk. (μS) cm ⁻¹	405	400
Abfluss (Tagesmittel) m ³ s ⁻¹	1.91	1.41

Stets wurden die Proben ca. 10 cm unter Wasseroberfläche gefasst. Wie früher (BINGGELI, 1961) wurde mit einem einfachen feldmässigen Labor gearbeitet, dessen Hauptbestandteil die Polyäthylen-Titrationsflasche darstellt (Messgrenze ¼ °fH). Für unsere Zwecke ist ihre Genauigkeit weitaus hinreichend. Für die Karbonathärte titrierten wir mit n/10 H Cl auf Methylorange, für die Gesamthärte mit Komplexon-III-Lösung auf Eriochromschwarz (Farbumschlag rot-violett – rein blau). Weitere Details über diese Analysenmethode finden sich in der obenerwähnten Schrift. (1961, S. 71–80)

In der näheren Umgebung Langenthals untersuchten wir in verschiedenen Jahresreihen 27 Gewässer (Quellen, Grundwasser, Flüsse). Hier können von den ca. 1250 Einzelmessungen vorläufig nur wenige Resultate ausgewertet werden, vorab die 120 Analysen des Langetewassers.

Die in ihrer Grösse vergleichbaren Flüssen des Obergeraues (Molasse-Glazial-Gebiet) weisen ähnliche Härten auf und zwar relativ hohe. Im Oberlauf treffen wir zumeist deutlich geringere Werte an (15–20 °fH) in den Unterlaufabschnitten entsprechend dem Grundwasserzutritt härtere Wasser (bei und >20 °fH).

In der Mehrheit liegen die Härten der von den Molassehügeln stammenden kleinen Langete-Zuflüssen (10–15 °fH) deutlich unter jener des Talflusses selbst (20–23 °fH) und allgemein unter jenen der Flüsse in aufgeschotterten Sohlentälern (mit Grundwasserströmen!), doch liegen zu einer Regel allzu viele Ausnahmen vor; so treten auch bei Schichtquellen aus der Molasse (Aquitane) einmal Härten von 10°, wenig daneben von 25 °fH auf. An der untern Langete weisen die Giessen (Grundwasserbäche) sehr hohe Härten auf, bis 30 °fH.

Deutlich erkennen wir, dass einerseits die teils alpinen Wasser der Aare (Tab. 35) deutlich tiefere Härtezahlen (15–20 °fH) ergeben als jene der Langete (Tab. 34), dass andererseits die Bäche des benachbarten Juras durch Härten um 30 °fH charakterisiert sind. Völlig aus dem Rahmen fällt die extrem hohe Gesamthärte von 181.5 °fH des kleinen Bächleins auf der Teuffelenweid ob Attiswil (Gipsvorkommen).

Tab. 34: Langete/Lotzwil 1962/63 und 1967. Gesamthärte des Wassers, Monatsmittel

	Wasserhärte °fH	Abfluss m ³ /s
Januar	23.2	1.64
Februar	22.5	1.3266
März	22.2	2.693
April	21.8	2.17
Mai	22.1	2.1366
Juni	22.3	2.143
Juli	23.9	1.4
August	23.1	1.353
September	22.5	1.31
Oktober	22.6	1.513
November	22.2	1.62
Dezember	22.3	11.47
Mittel Jahre	22.6	1.73

Tab. 35: Aare/Oberwynaun 1963/64 und 1966. Gesamthärte des Wassers, Monatsmittel

	Wasserhärte °fH	Abfluss m ³ /s Murgenthal
Januar	18.4	215
Februar	18.4	230
März	19.0	256
April	18.5	337
Mai	17.5	420
Juni	16.0	388
Juli	15.1	299
August	14.9	289
September	15.1	223
Oktober	15.6	196
November	17.7	208
Dezember	18.6	212
Mittel Jahre	17.7	273

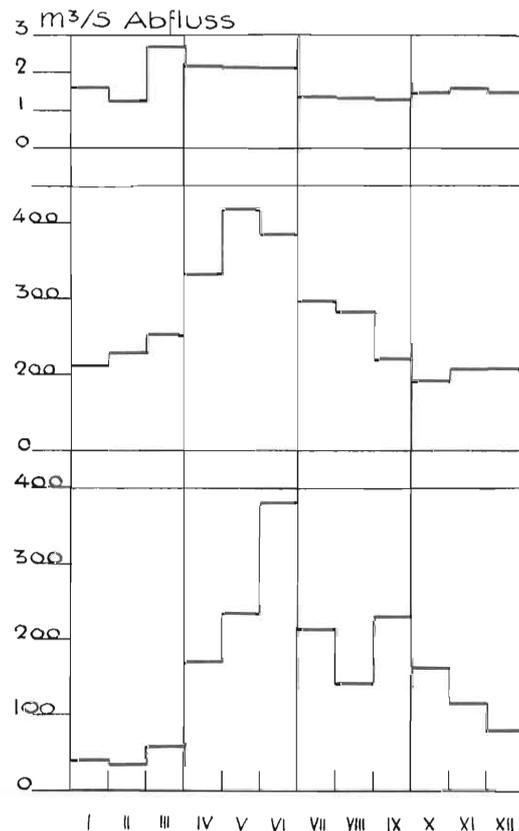
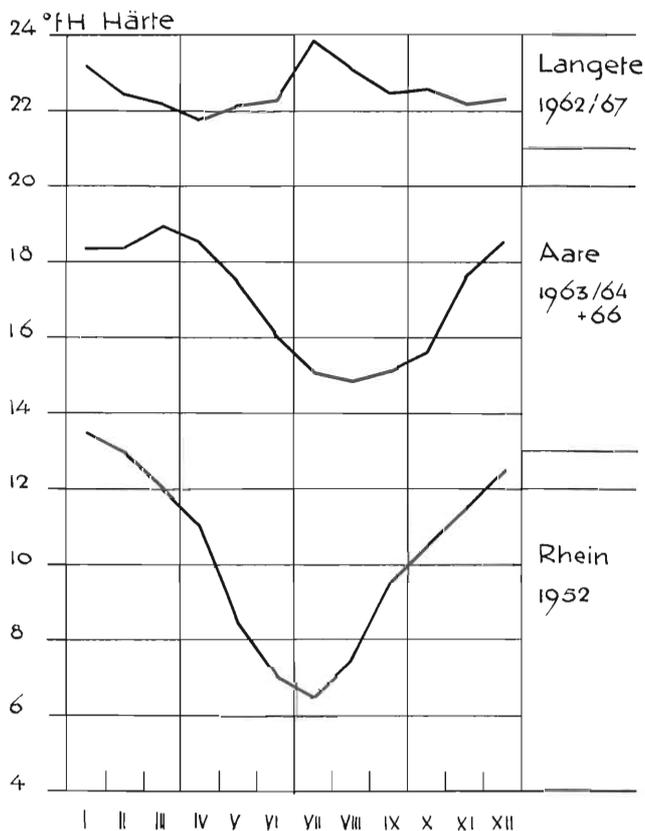


Fig. 84/85 Langete/Lotzwil, Aare/Murgenthal, Rhein/Ragaz (nach JAECKLI 1957). Mittlere monatliche Werte von Wasserhärte und Abflussmenge.

Was den Jahreslauf der Wasserhärte (Gesamt H.) betrifft, so sind in Tab. 34 und 35 (Fig. 84) je die 3-jährigen Monatsmittel für Langete/Lotzwil und Aare/Oberwynau enthalten. Dazu haben wir die Jahreskurve des Rheins (JAECKLI, 1957) gesetzt, wobei Vergleiche sehr wohl möglich sind, obwohl hier nur ein Einzeljahr vorliegt und wir zudem die Kurve Rhein um ca. 3 Einheiten nach oben zu verschieben haben, da nur die Karbonathärte bekannt ist. Dazu ist zu beachten, dass einerseits das Jahr 1952 nass war, andererseits die 3-Jahres-Mittel von Langete und Aare beide leicht unterdurchschnittlichen Abfluss aufweisen. Setzen wir eine allgemeine umgekehrte Proportionalität zwischen Abfluss und Härte voraus, so lauten die Zahlen wie folgt:

Wasserhärte (in °fH). Approximative Mittelwerte

	Karbonat	Gesamt
Rhein/Ragaz	11	ca. 14
Aare/Murgenthal	14	17
Langete/Lotzwil	20	22

Es zeigt sich, dass die Monatsmittel durchwegs eine Abhängigkeit von der entsprechenden Abflussmenge aufweisen, doch keinesfalls eine enge. Bei allen 3 Beispielen ist die Härte im Winter relativ hoch (Grundwasserzutritt in Niederwasserzeit, Langete also besonders auch im Sommer); die Aare hat eine eigentümliche Märzspitze: Hier zeigt sich, wie fast durchwegs bei den Extremmonaten, dass jeweils die Härte gegenüber dem Abfluss eine Verzögerung aufweist. So treten in allen 3 Fällen die minimalen Härten im Zusammenhang mit der Schneeschmelze (Verdünnung durch hohe Wassermengen) *nachverschoben* auf, bei der Aare weitaus am deutlichsten verzögert:

Maximalmonat Abfluss – Minimalmonat Härte	Langete	III – IV
	Aare	V – VIII
	Rhein	VI – VII

Den Jahreslauf der Wasserhärte (mit Bezug auf die Wasserführung) zeigt Fig. 86 für die Aare: Die Gegenläufigkeit zufolge Verdünnungseffekt entspricht den Erwartungen; die Härteabnahme *mit* Abflussabnahme, insbesondere von Mai–August, führen wir auf überwiegenden Anteil von glazialen Schmelzwasser zurück.

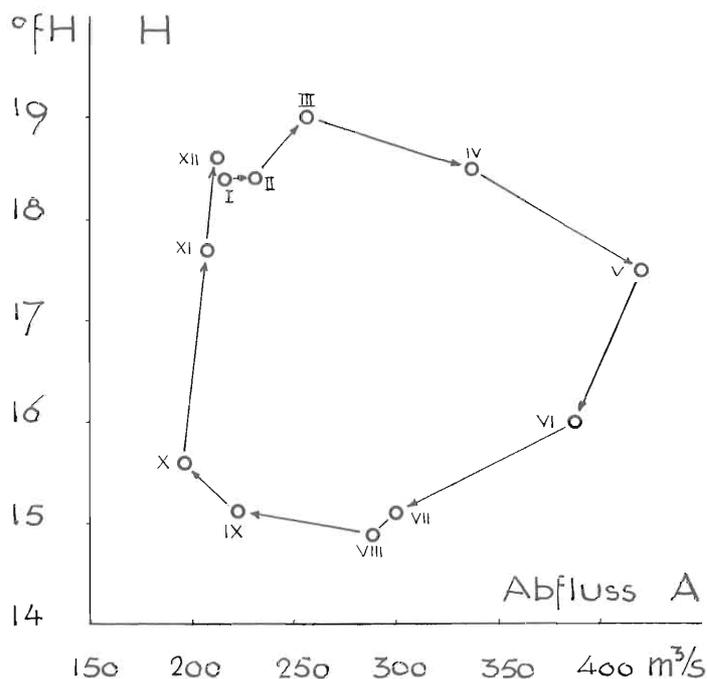


Fig. 86 Aare/Wynau-Murgenthal 1963/64 und 1966. Gang der mittleren monatlichen Gesamthärte des Wassers in Abhängigkeit von der Abflussmenge.

Setzen wir gemäss Fig. 87 Einzelwerte der Härte zu Tagesmitteln des Abflusses in Relation, so ergibt sich eine gewisse umgekehrte Übereinstimmung in Form eines breiten Streifens. Wir dürfen in Annäherung sagen, dass zu einem Abfluss um $4 \text{ m}^3/\text{s}$ eine Härte von $18\text{--}22 \text{ }^\circ\text{fH}$ gehört, zu $1 \text{ m}^3/\text{s}$ eine solche von $22\text{--}26 \text{ }^\circ\text{fH}$.

Zur Berechnung des Ausmasses der chemischen Erosion im Langetegebiet wurde nur die Gesamthärte herangezogen und sie als der Gesamtmineralisation entsprechend gesetzt; jedenfalls wird unsere Zahl derart nicht zu gross. Andererseits aber änderten wir auch nichts an unserem Dreijahresmittel 1962/63 und 1967, obwohl deren Abflüsse unterdurchschnittlich ausfielen.

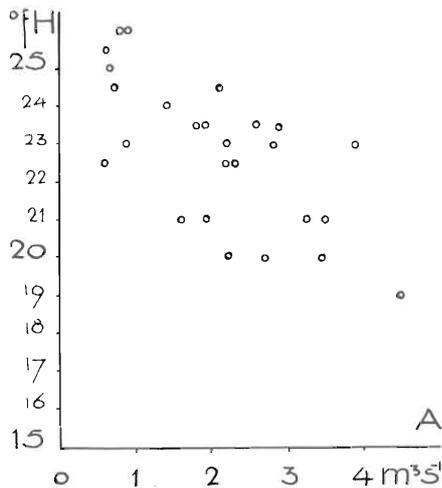


Fig. 87 Langete/Lotzwil 1963 und 1966. Beziehung zwischen Wasserhärte (in $^\circ\text{fH}$) und Abflussmenge

Langete/Lotzwil 1962/63 und 1967 (3 Jahre). Mittelwerte der Lösungsführung

Mittlere jährliche Lösungskubatur	6400 m^3
Mittlerer Lösungsgehalt	220 mg/l
Mittlerer Abtrag durch Lösungsführung (allg. Gebieterniedrigung)	0.06 mm/Jahr

Diese Zahlen dürfen nur als typisch für Alpenvorlandflüsse im Bereiche des Napffächers aufgefasst werden: Da die dortigen kalkreichen Nagelfluhgesteine zu hohen Härten führen, liegt die entsprechende Abtragsgrösse durch Lösungsfracht über den Werten anderer Alpenvorlandgebiete und ungefähr bei derjenigen des Juraflusses Birs/Münchenstein (BARSCH, 1969). Für die Areuse resultieren nach BURGER (1959) 0.09 mm/Jahr .

Der Wert der Langete für die chemische Erosion dürfte nach den Hydrographischen Jahrbüchern der Schweiz eher an der untern Grenze der Lösungsintensität von Alpenflüssen liegen, indem für Inn/Martina 0.06, Rhein/Schmitter 0.08, Aare/Stilli 0.07, Rhone/Porte du Scex 0.07 und Rhone/Genève 0.06 mm/Jahr mitgeteilt werden (PETERS 1973).

Im gesamten bündnerischen Rheingebiet beträgt der Lösungsabtrag nach JAECKLI (1958) = 0.052 mm/Jahr und im Rhonegebiet nach UETRECHT (1906) = 0.066 mm/Jahr .

Die Abhängigkeit von der Petrographie der Einzugsgebiete bedingt speziell in den Alpen akzentuierte Unterschiede (Fig. 88): Während in Kristallinzonen kaum ein Abtrag durch chemische Lösung erfolgt, steigt der Wert im Karbonat-Sulfat-Gebiet des Brenno del Lucomagno/Segno auf 0.36 mm/Jahr (BINGGELI 1961).

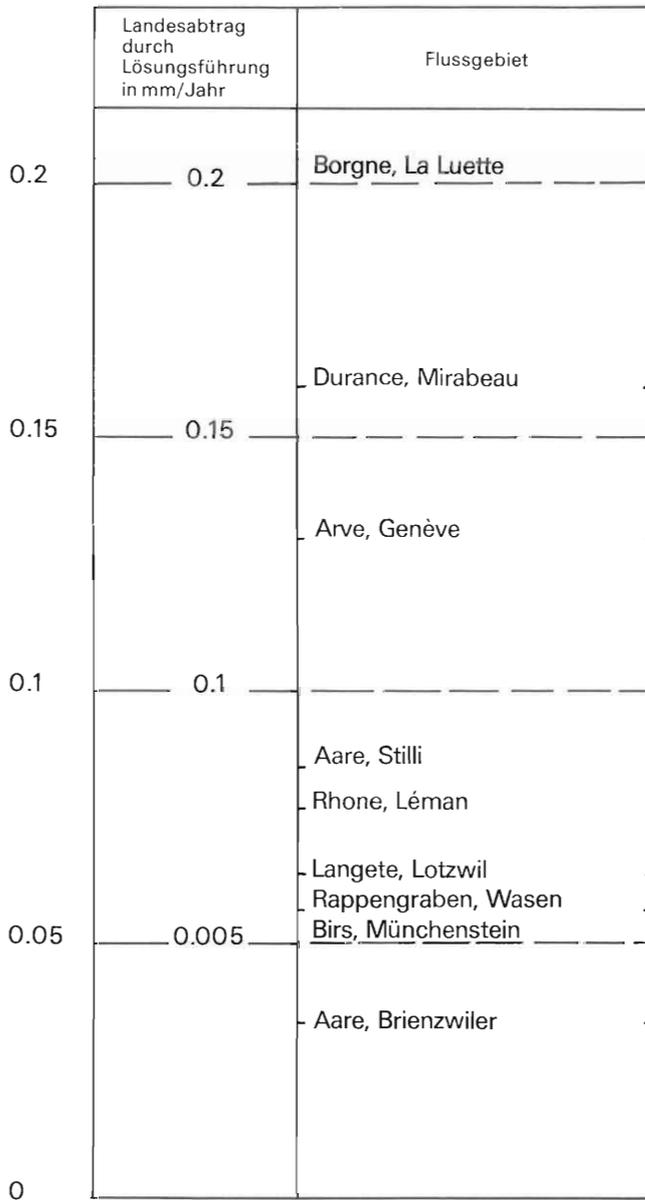


Fig. 88 Mittlerer Landesabtrag durch Lösungsführung (chemische Erosion) der Flüsse. Nach Werten von: Eidg. Amt f. Wasserwirtschaft, 1939; CORBEL 1959; WALSER 1970 und eigenen Erhebungen

6.4. Die Erosionsanteile von Geröll, Schweb und Lösung

Die folgenden Zahlen mögen nicht mehr, denn als Grössenordnungen aufgefasst werden; wohl dürften die Extremwerte der Materialfracht des Flusses mit Bezug auf die Wasserführung kaum noch ins Gewicht fallende Modifikationen durch weitere Messungen erfahren, andererseits sind Mittelwerte heute bloss angenähert mitzuteilen.

Tab. 36: Langete/Lotzwil 1959–68. Mittlere Materialfracht in Abhängigkeit vom Abfluss

Hochwasser ($>6 \text{ m}^3/\text{s}$)	Geröll	500 mg/l	100–1000 mg/l
	Schweb	1000 mg/l	500–4000 mg/l
	Lösung	200 mg/l	170– 220 mg/l
Mittelwasser ($1.5\text{--}3 \text{ m}^3/\text{s}$)	Geröll	0 mg/l	
	Schweb	60 mg/l	30– 100 mg/l
	Lösung	220 mg/l	200– 250 mg/l
Niederwasser ($0.3\text{--}1.3 \text{ m}^3/\text{s}$)	Geröll	0 mg/l	
	Schweb	10 mg/l	5– 20 mg/l
	Lösung	250 mg/l	230– 260 mg/l

Die Tabelle lässt folgende Schlüsse zu:

1. Gemäss dem früher Ausgesagten wird nur bei Hochwasser *Geröll* geführt. In diesem Falle allerdings durchschnittlich fast die Hälfte des Schwebtransportes.
2. Auch der *Schwebgehalt* der Langete fällt (wie derjenige an Geröll) sehr stark ab von Hoch- zu Mittelwasserständen; jenen mit extremen Zahlen von einigen Tausend mg/l stehen diese mit solchen von <100 gegenüber. In Niederwasserzeit transportiert der Fluss meistens bei 10 mg/l, kaum viel darüber oder darunter.
3. Deutlich erhellt, dass der *Lösungsgehalt* mit Bezug auf die Wasserführung den konstantesten Anteil stellt. Das Gelöste verfolgt eine stets sehr ähnliche Jahreskurve, fast unabhängig vom entsprechenden mittleren Jahres- oder Monatsabfluss. Kleinere Abfluss-Schwankungen darin wirken sich kaum auf den Gehalt an gelöster Substanz aus; nur bei Hochwassern ist naturgemäss eine Verdünnung festzustellen.
4. Die allgemeine Regel, wonach bei Hochwasser die Schwebstoffe, bei Niederwasser das Gelöste überwiegt, wird bestätigt, wobei jedoch, in unserem Falle sehr deutlich, bereits beim Mittelwasser der Lösungsgehalt den Schweb übertrifft. Dies wird für andere voralpine Flüsse ebenfalls häufiger der Fall sein, als bisher angenommen wurde – mangels bezüglicher Abklärungen.

Unsere Darstellung der Erosionsanteile von Geröll, Schweb und Lösungsfracht in Fig. 7 zeigt, dass durchwegs das Geröll den geringsten Betrag stellt, bei den Alpenflüssen noch über 30% des Totalabtrags, bei denjenigen des Alpenvorlandes 10–20%. Die alpinen Flüsse transportieren an erster Stelle in Schwebform, die Alpenvorlandflüsse in Form von Lösung.

6.5. Der fluviale Gesamtabtrag

Stellen wir schliesslich die Hauptwerte der vorangehenden Erörterungen zusammen, so erhalten wir mit nachstehender Tab. 37 und Fig. 7 die Hauptresultate unsrer Untersuchung über das Ausmass der Fluvialerosion.

Als Vergleiche sind uns für den Totalabtrag (0.09 mm/Jahr oder in 1000 Jahren = 90 mm) kaum Werte aus ähnlichen Untersuchungen mit entsprechenden Gebieten bekannt. Zumeist sind die Gebiete bedeutend ausgedehnter. Andererseits geht die Mehrzahl der in der Literatur aufgeführten Beträge auf Deltavermessungen zurück, zumal jene bekannten Zahlen aus der Schweiz, die wir vorn aufführten (Geröll, Schweb; die Lösungsanteile sind nicht eingerechnet).

Tab. 37: Langete/Lotzwil 1959–68. Mittlere jährliche Erosionsbeträge

Geröll	16 mg/l	440 m ³ /a	0.004 mm/a
Schweb	90 mg/l	2500 m ³ /a	0.022 mm/a
Lösung	220 mg/l	6400 m ³ /a	0.06 mm/a
Totalabtrag	326 mg/l	9340 m³/a	0.086 mm/a

Ins Auge sticht die unbedingte Notwendigkeit, in die Erosionsberechnung die Lösungsfracht einzubeziehen; deren Übergewicht rührt von ihrer Konstanz her und besonders von ihrer Höhe bei Mittel- und Niederwasser. Das Langetewasser führt im Durchschnitt um 70% seiner Erosionsfracht in gelöster Form, was teilweise naturgemäss auf Konto karstische Auslaugung der Kalke und besonders des kalkigen Bindemittels der Napf-Nagelfluh zu buchen ist.

Schwemmstoffe : Lösung = 1 : 2

Geröll : Schweb : Lösung = 1 : 6 : 15

Vergleichen wir mit den Zahlen für Totalabtrag (mm/Jahr) bei CORBEL (1959) und LOUIS (1968), so liegen sie für unsere humide, gemässigte Mittelbreite

- a) mit Flachland und mässigem Gebirge
mit viel Ackerkultur
(Gelöstes = 75–95%) bei 0.03 mm/a (0.01–0.04)
- b) mit kleinerem Hochgebirgsanteil
(Gelöstes = 40–60%) bei 0.07 mm/a (0.04–0.1)
- c) mit Hauptanteil an Hochgebirge
(Gelöstes = 10–45%) bei 0.4 mm/a (0.2–0.7)

Die Werte der Langete sind den landschaftlichen Bedingungen gemäss unter a) einzustufen, sie liegen dort indessen über der angegebenen oberen Grenze. Die Grenzwerte sind allgemein etwas vorsichtig tief angesetzt, vorwiegend aus dem Grunde zu geringer Breite der systematischen quantitativen Abklärungen, besonders was kleinere Flüsse betrifft.

7. Hydroökologie

Die Hydroökologie als Lehre von den anthropogenen Wirkungen innerhalb des Gesamtwasserhaushalts stellt ein vielschichtiges Gebiet interdisziplinären Charakters dar. Die Lösung hydroökologischer Probleme, des Durch-, Gegen- und Zusammenwirkens natürlicher und menschlicher Einflüsse, sind für den vom Wasser abhängigen Menschen von entscheidender Bedeutung. Hier gilt es demnach im besondern, Fragen von Wasservorkommen, Wassernutzung, Gewässerschutz und Gewässerplanung zu studieren.

Inwieweit das hydroökologische Gleichgewicht von Wasserangebot und -nachfrage auch in unserem Untersuchungsgebiet gestört ist, inwieweit sich einerseits Nutzung und Entnahmen, andererseits Schutz- und Kompensationsmassnahmen entsprechen, ist vorab im folgenden darzulegen. Dass sich in diesen Fragenkreisen die Bereiche von Grundlagen- und angewandter Forschung oft nicht trennen lassen, liegt auf der Hand. Verschiedene der nachstehend erörterten Probleme sind durch gutachterische Tätigkeit erst eigentlich in ihrer Bedeutung erkannt oder doch vertieft bearbeitet worden.

Die im folgenden erörterten Verhältnisse und Entwicklungen sind wohl im Langetegebiet besonders ausgeprägt, dürfen aber für alle Sohlentäler des zentralen schweizerischen Alpenvorlandes als typisch gelten. Dies insbesondere, was die Bewässerungssysteme und ihre hohe hydrologische Bedeutung betrifft (Grundwasseranreicherung).

7.1. Wasser-Angebot und -Nachfrage

Das Wasserangebot war der primäre Faktor der frühen Besiedelung. Im Langetegebiet lagen hierin günstige Verhältnisse vor. Die angelaufene hydrogeologisch-hydrologische Prospektion, die Staat und Regionalplanungsverband in Auftrag gegeben haben, wird bezüglich Quantität bedenklichere Prognosen stellen. Heute werden im Raum der Langete an die 7 Mio m³/Jahr an Wasser gefördert, grossteils aus dem Grundwasser. Das mittlere jährliche Wasserangebot im Einzugsgebiet der Langete beträgt 80 Mio m³, einschliesslich Abflussmenge der Langete, dasjenige von Grund- und Quellwasser 15–20 Mio m³ davon.

Noch heute wird zeit- und stellenweise die Entwicklung einer Region durch das Wasserangebot bestimmt, so etwa im Falle der kleinen bäuerlichen Siedlung Obersteckholz (siehe 7.3. und BINGGELI, 1971).

7.2. Veränderungen der Wasserbilanz

Für die BRD hat KELLER (1971) interessante derartige Verschiebungen zeigen können. Dort hat sich von der Periode 1891–1930 zu derjenigen von 1931–60 ein Rückgang der Bilanzanteile Abfluss (–34 mm) und Grundwasser (–22 mm) ergeben. Dies schreibt KELLER der höheren Verdunstung (entsprechend höhern Ernteerträgen) zu und hält fest: «Dieses Ergebnis wird von den Fachleuten sicher nicht erwartet. Wenn dieses Ergebnis reell ist, woran ich nicht zweifle, bedeutet es, dass der Einfluss des Menschen auf den Wasserkreislauf stärker ist, als bisher anzunehmen war.»

Unter andern Vorzeichen können wir für das Langetegebiet ebenfalls eine durch den Menschen bewirkte Bilanzveränderung quantitativ belegen. Wie wir vorn zeigten (5.7.) war früher der Anteil an oberflächlich abfließendem Niederschlagswasser geringer als heute: Es gelangte in der Periode 1924–68 vom Niederschlag bloss ein Anteil von 46% zum Abfluss, während für die Jahre 1959–68 der entsprechende Wert 50% beträgt, was wir insbesondere auf den Abgang von Wässermattenareal und die damit verbundene *geringere Einsickerungsmenge von Langetewasser ins Grundwasser* zurückzuführen haben. Wenn demnach früher ca. 10% mehr an Flusswasser dem Grundwasser zuteil wurde, so machen die entsprechenden 50 mm vom Bilanzanteil des heutigen jährlichen Grundwasseranteils (125 mm) immerhin einen Mehrertrag von 40% aus. Mit dem Rückgang des Irrigationssystems an der Langete geht also dem Grundwasser ein sehr bedeutender Anteil Sickerwasser verloren, d. h. gelangt ungenutzt und rasch in der Langete zum oberflächlichen Abfluss.

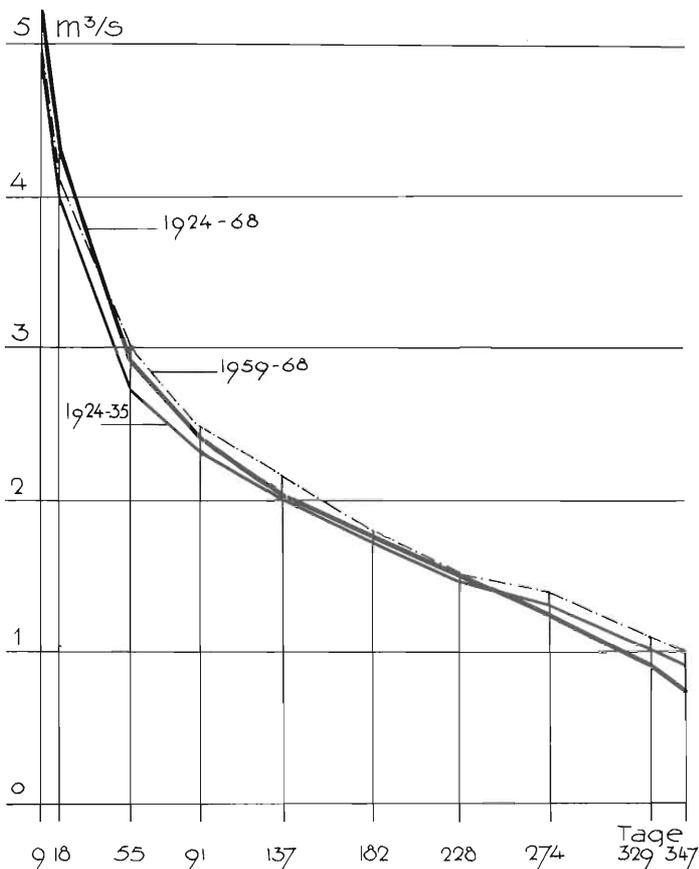


Fig. 89 Langete/Lotzwil. Dauer der Abflussmengen, m^3/s an T Tagen jährlich vorhanden oder überschritten. Dauerkurven für das 1. und das letzte Jahrzehnt der Limnigraphenmessungen an der Langete und für die gesamte Messperiode 1924–68.

Eine populäre Frage ist jene nach Veränderungen von Niederschlags- und Abflussmengen in den letzten 3–5 Jahrzehnten, also «seit Menschengedenken». Stets wieder wurden, auch von «Gewährsleuten», Ansichten geäußert, dass sich der Niederschlag in diesem Zeitraume vermehrt, dagegen die Wasserführung der Langete vermindert hätte. Diese Angaben fassen sogar teils auf (scheinbar) guten Beobachtungen, ja eigentlichen Messungen (Einstau bei Sägewerk).

Beides ist von den unserer Arbeit zugrunde liegenden Messungen aus nicht zutreffend. Dagegen weisen Vergleiche der «Dauer der Abflussmengen» gemäss Fig. 89 für verschiedene Perioden eine leicht veränderte Wasserführung aus, insbesondere wohl durch Rückgang der Wässerung in den Langetematten und durch Überbauung. Es muss einer spätern Untersuchung überlassen werden, der Frage nachzugehen, ob sich den genannten kulturlandschaftlichen Veränderungen zufolge nicht doch die erwartete deutliche Extremisierung des Abflussverhaltens einstellt (häufigere und geringere Niederwasser und umgekehrt).

Wenn sich das jährliche Abfluss-Regime der Langete nicht als wohl merkbar verändert erweist, so gilt dies ebenfalls für eine längere Reihe von Jahrestotalen. In Fig. 57 steht den ungefähr auf steter Mittelhöhe schwankenden Jahresniederschlägen eine leicht abfallende Abflusstendenz gegenüber. Hoch liegt die Reihe 1924–41 ($2.19 \text{ m}^3/\text{s}$), tiefer jene 1942–64 ($1.79 \text{ m}^3/\text{s}$), besonders tief 1942–50 ($1.46 \text{ m}^3/\text{s}$); 1942–68 = $1.90 \text{ m}^3/\text{s}$. Es stellt sich die Frage, ob mit den 3 Nassjahren 1965, 1966 und 1968 der Abschluss dieses Wellentals vorliegt. Jedenfalls sehen wir hier eine mögliche Lösung des durch die «Gewährsleute» angeschnittenen Problems, was insbesondere den vermeintlichen Abflussrückgang der Langete betrifft: Die Behauptung dürfte auf die Tiefphase 1942–64 zurückgehen. Sie mutet jedoch doppelt eigentümlich an, wenn wir uns der oben erwähnten Bilanzverschiebung erinnern, wonach der relative Abfluss (bezüglich des Niederschlags) im Jahrzehnt 1959–68 sogar etwas höher ausfiel als in den 3 vorangehenden Jahrzehnten.

7.3. Trinkwasserversorgung

Es seien dazu drei Versorgungstypen besprochen, denen allgemeiner Charakter zukommt: 1. die moderne grössere Gemeinde-Wasserversorgung auf Grundwasserbasis, 2. die Mittelform einer Gruppenversorgung (Zusammenschluss einer kleinern Anzahl von Verbrauchern in der privaten Genossenschaft, in unserem Falle und bezeichnenderweise zur Fassung von Hangquellen in der Molasse) und 3. die private Einzel-Quellwasserversorgung, insbesondere für Bauernhöfe im hügeligen Streusiedlungsgebiet. – Schliesslich sei aufmerksam gemacht auf eine spezielle ältere Art der Quellfassung und Einzelhofversorgung, mittels Brunnstollen in der Molasse.

Vom ersten Typus ist die *Grundwasser-Gemeindeversorgung* Langenthals (Fig. 90). Sie datiert wie erwähnt aus der Jahrhundertwende, als in Madiswil oberflächennahes Grundwasser (Aufstösse, ca. 3000 l/min.) gefasst und im freien Fall nach dem ersten Reservoir Moosrain geleitet wurde. Nach ungefähr einem Vierteljahrhundert genügte dieses Vorkommen nicht mehr, und im Grundwasserstrom des Trockentals Bleienbach–Langenthal folgte die Grundwasser-Pumpfassung Dennli – sie wurde zum Debakel. Denn der gedeckte Strom enthielt zu wenig Sauerstoff, die Folge war Ausfällung von Eisen- und Manganoxyd, was erst eigentlich in Erscheinung trat, als grössere Mengen gefördert wurden.

Nach dem Expertenbericht HUG–MOHLER–RYSER (1945) kam man zum drastischen Schluss, die Fassung aufzugeben. Im Grundwasserbecken des Hards n Langenthals errichtete die Gemeinde 1950/

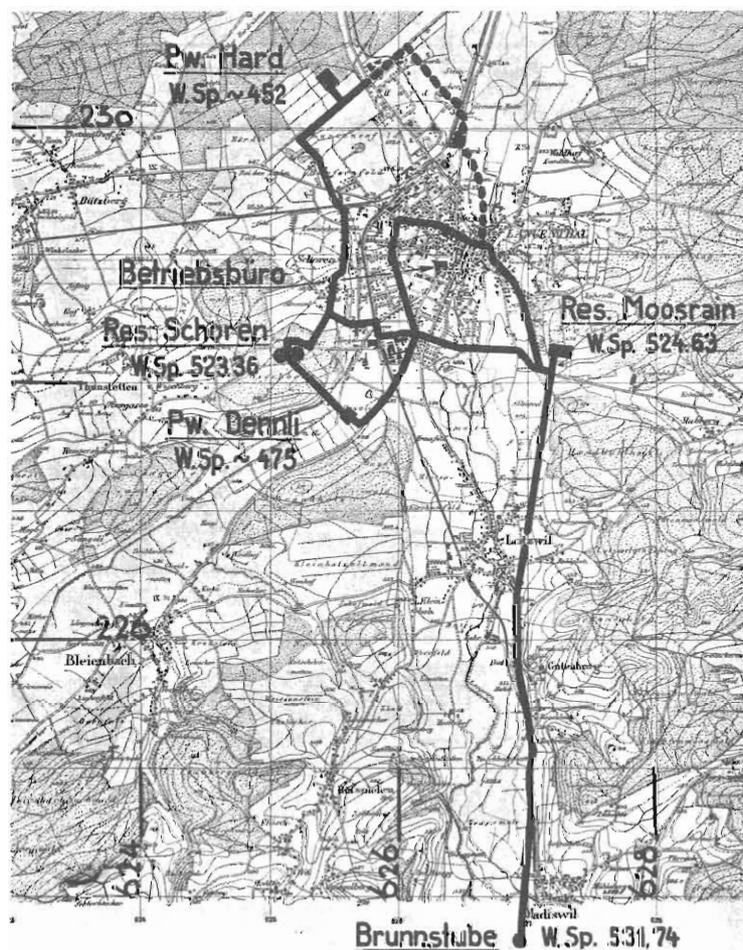


Fig. 90 Langenthal. Grundwasserversorgung der Gemeinde. Topographische Situation auf S.A. 1:25 000, Bl. Langenthal. Repr. mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 11. 6. 1974.

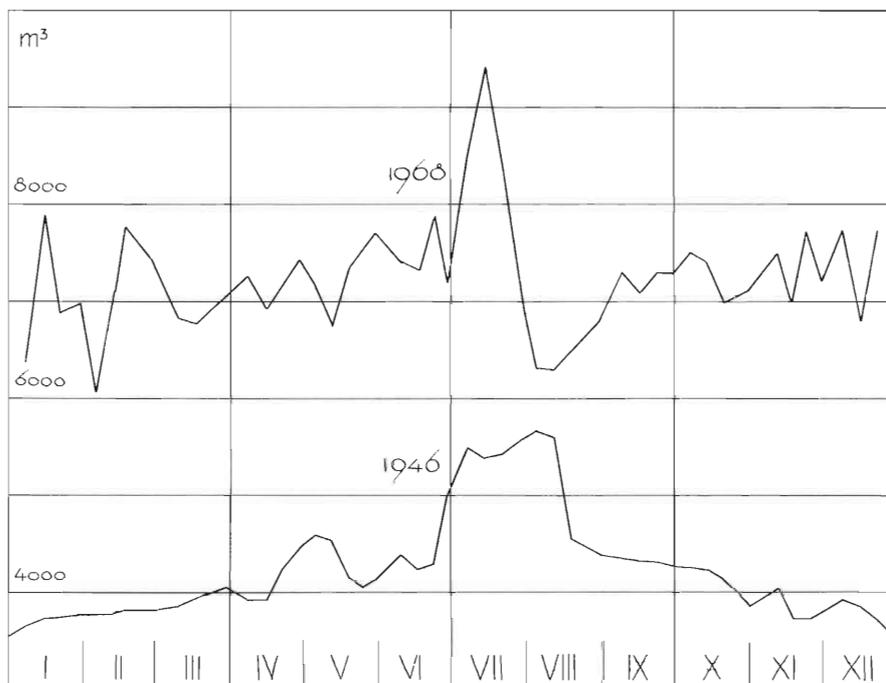


Fig. 91 Wasserkonsum der Gemeinde Langenthal in m^3 pro Tag für zwei Jahre mit normalem Jahresniederschlag. Wasserkonsum pro Tag und Einwohner 1946: 438 l, 1968: 583 l.

51 ein neues, grösseres Pumpwerk (Konzession 5500 l/min; Einwohner: 9000). Kürzlich erfolgte der Ausbau mit einer dritten Pumpanlage und die Bewilligung für 12 000 l/min (1965; Einwohner 12 500). Die gegenwärtige Planung sieht die Erweiterung der Reservoiranlagen vor und den Bau einer weitem Grundwasserfassung.

Die Entwicklung der Fassungskmengen von Madiswil und Hard stand bereits zur Diskussion und ist veranschaulicht in den Fig. 92 und 110. Den Anstieg des Wasserkonsums machen Fig. 91/92 mehr als deutlich, doch dürfte heute die Kulmination des Pro-Kopf-Verbrauchs erreicht sein.

Zur Darstellung des 2. Versorgungstyps diene die private Genossenschaft (*Quellwasser-Gruppenversorgung*) von Obersteckholz (Fig. 93). Am Hügelhang des Felliwaldes konnten für die südlichen Teile des Dorfes eine grössere Zahl von Wasseraustritten gefasst werden. Hier handelt es sich also um eigentliche Hangquellen, die grösstenteils im Schutt austreten, aber doch zumeist von dessen Grund stammen, der Molasse (Aquitane – Burdigalien). Die Schuttbedeckung ist weithin nur geringmächtig: Grundmoräne und Schotter von Rissalter. Die Genossenschaft Obersteckholz fasst gesamthaft bei 100 l/min (80–120) und versorgt damit etwa 40 Häuser.

Im mittlern und höhern Hügellgebiet des Langetetals finden wir häufig die *Einzelhof-Quellversorgung*. Jeder Hof oder jede Gruppe von solchen besitzt einen oder mehrere Brunnen, aus denen das Wasser entweder im freien Fall oder über eine einfache Pumpe (Widder, Klopfer) zum Hause geleitet wird. Die Wassermenge liegt in der Grössenordnung von 10 l/min, variiert von einigen l zu einigen 10ern von l.

Was die spezielle Quellwasserversorgung mittels Brunnstollen in der Molasse betrifft, sei auf die Arbeit von BUDMIGER (1967) verwiesen. Insbesondere in den relativ weichen Sandsteinen des höhern Oberaargaus sind eine grosse Zahl von Brunnhöhlen oder Quellstollen bekannt. Im Tal der Langete sind sie in jeder Gemeinde, sozusagen bei jedem zweiten Weiler oder Einzelhof anzutreffen (Fig. 94).

Fehlten oberflächliche Quellen oder lagen seitab, vielleicht sogar auf fremdem Grund und Boden, war die grabweise Erschliessung in der Molasse (mit der gewünschten nahen Zuleitung) das übliche. Zudem

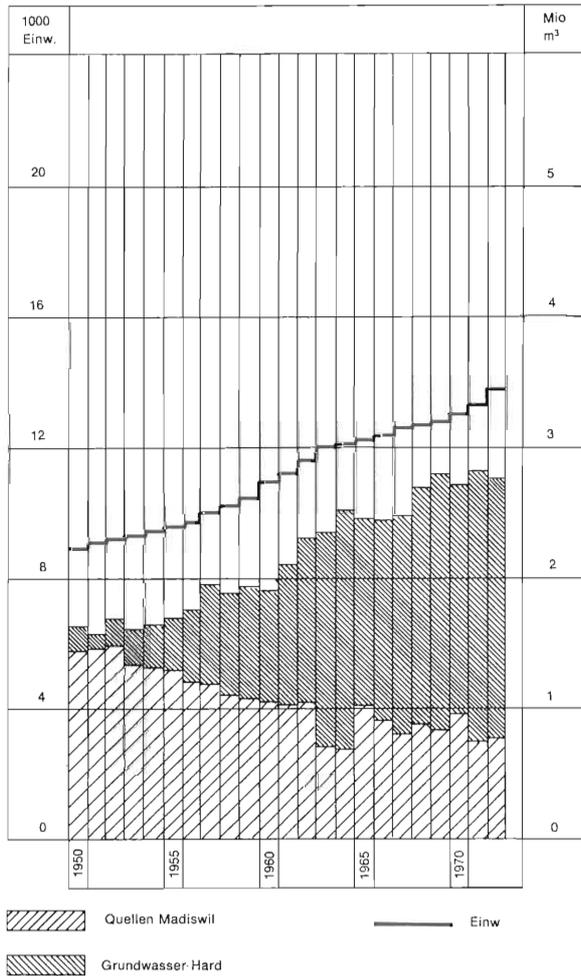


Fig. 92 Langenthal 1950–72. Entwicklung von Bevölkerung und Wasserkonsum der Gemeinde. Verlagerung vom Quellgrundwasser Madiswil, dessen Ertrag zurückgeht, auf Grundwasser des Hardfeldes. Nach IBL, 1972.

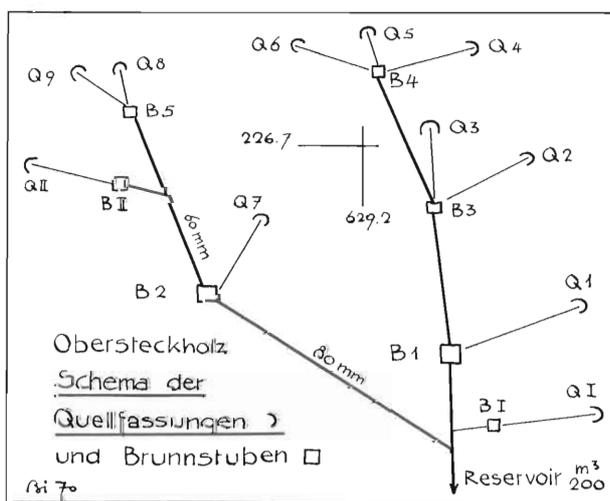


Fig. 93 Beispiel der Anlage einer mittelgrossen Gruppen-Wasserversorgung auf der Basis von Hangquellen in der Molasse

erhoffte man vom «Felswasser» höhere Quantität und Qualität, was indessen keineswegs allgemein zutraf. (Aber es wurde beispielsweise auch das heute zuhöchst geschätzte Grundwasser aus den Talbodenschottern noch bis vor wenigen Jahrzehnten als «Talwasser» dem hangseits austretenden «Quellwasser» gegenüber verachtet und verschmäht.) Allerdings sind auch aus den letzten Jahren – in unserer Gegend ebenfalls – vereinzelte Fälle solcher Quellgrabungen bekannt. Zumeist können einige bis einige Zehner von Minutenlitern gefasst werden.

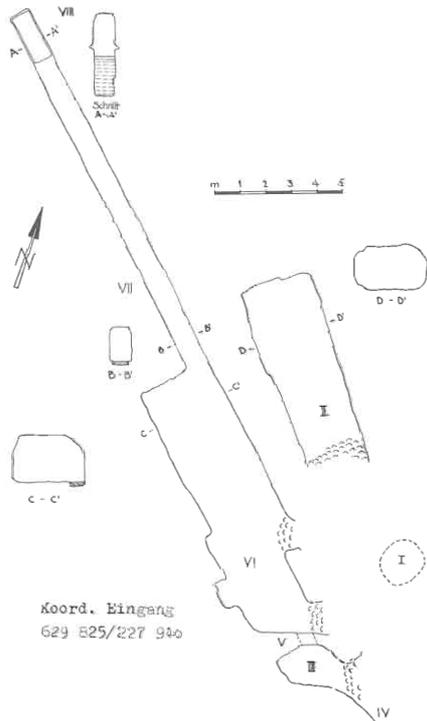


Fig. 94 Obersteckholz BE, 20. 2. 1965. Beispiel einer aufgelassenen Wasserefassung durch Quellstollen («Brunnhöhle») in der Molasse



Abb. 30 Madiswil, Bisigmatten. Eigenart und Schönheit eines charakteristischen Abschnitts von Wässermatten: Parklandschaft mit Langete und Bewässerungskanälen, Bäumen und Buschhecken. Aufn. Verfasser 1965

Abb. 31 Rohrbach. Lanzmatt. Wasserareale mit Grabennetz und durch Verfärbung gekennzeichnete bewässerte Wiesen (dunkles Grün durch stärkern Graswuchs). Aufn. Swissair Photo AG, Zürich, vom 28. 3. 1968.





32



33

Abb. 32 Langenthal, Steinachermatte. In diesem gutenhaltenen Wassergebiet ist ein Wässerbannwart eingesetzt, der «nach alter Übung» Schleusen und Brütschen bedient und den einzelnen Parzellen das zugehörige Irrigationswasser zufließen lässt. Aufn. Verfasser 1959

Abb. 33 Madiswil/Lindenholz. Ein gewohntes Bild im Tal der Langete: Abbruch von Bewässerungseinrichtungen, hier der Wuhre aus «Solothurnstein». Zeitgemässer Abgang eines sinnreichen, durch Jahrhunderte gewachsenen Werks. Aufn. Verfasser 1971

Abb. 34 Langenthal, Steinachermatten, erstes Wehr («Brütsche») nahe der Langete. Überflutung der Matten bewirkt Anreicherung des Grundwassers. Aufn. Chr. Leibundgut 1970

34



7.4. Wasserkraftnutzung

Kurz möchten wir noch auf die *Wasserkraftnutzung* der Kleingewerbe eintreten, obwohl ihr heute weder hydroökologische noch wirtschaftliche Bedeutung mehr zukommt. Diese Nutzungsform gehört heute schon in den historischen Bereich. Mittels eines Zitats aber sei ein Schlaglicht auf die alten Verhältnisse geworfen, auf die Gewerbe am Bach, woran heute oft nur mehr Flurnamen erinnern: Mühli, Sagi, Gärbi, Schmitte, Oeli, Rybi, Stampfi, Färbi, Bleichi.

Wir zitieren die «Staats- und Erdbeschreibung der ganzen Helvetischen Eidgenossenschaft» von J. C. FAESI aus dem Jahre 1765: «Der kleine Fluss Langeten, Langentann, Langaten, nimmt seinen Anfang auf den Alpen, ob dem Pfarrdorf Erisweil im Emmenthal, bey einem Bauerhof, in der Langeten geheissen, aus sehr vielen ab den Bergen und Nebenthälern zusammenrinnenden Brünnen und Bächen, so dass er ziemlich verstärkt durch Erisweil nach Huttweil seinen Lauf fortsetzet, und schon bis hier verschiedene Mühlen und andere Maschinen treibt. Von diesem Ort fliesst er nach Rohrbach, wo wiederum verschiedene Wasserwerke, samt einer Leinwand-Bleiche, angelegt sind. Von Erisweil bis unter Rohrbach, einem Bezirk von 2 Stunden, fliessen abermal viele zum theil beträchtliche Bäche in die Langeten. Eine halbe Stunde unter Rohrbach, neben Klein-Dietweil, fällt ein anderer beträchtlicher Bach in dieselbe, beynahe so stark als sie selbst. Dieser wird von einigen der Ursenbach und weiter oben der Oeschbach geheissen; er nihmt seinen Anfang auf denen Gebirgen im niedern Emmenthal, und fliesst durch das ziemlich lange Thal, der Oeschbach-Graben genennt, auf Ursenbach zu: Dieser Arm treibt schon 2 Mühlen bis Ursenbach; unter diesem Dorf fliesst er auf Weinstägen, einem Bintschenkhause im Amt Arwangen, wo auch ein Zoll bezogen wird. In dieser Gegend fällt er in die Langeten, welche, so verstärkt, auf Lindenholz eine Mühle und etliche Bauerhöfe im Amt Arwangen, zuläuft; all dort wieder Zufluss empfängt aus dem Leimisweil-Graben, einem mit vielen zerstreuten Häusern versehenen Thal; von Lindenholz, neben Madisweil vobey, auf Gutenberg, einem Bad und etlichen anderen Häusern; und so dann nach Lozweil, wo wiederum verschiedene Wasserwerke, eine Mühle, nebst einer Bleiche, angelegt sind. Von diesem Ort tritt sie in den Langenthalischen Bezirk; und nachdem sie denen Bleichen und dazu dienenden Werken ihre guten Dienste geleistet, fliesst sie so dann in 2 Arme vertheilt durch Langenthal, in welchem der eine Arm noch einen andern Zufluss erhält durch den beynahe von puren Brunn-Quellen ob dem Fleken entsprungenen, theils aus den Langenthalischen Waldungen sich sammelnden kleinen Bach Tottelbach; unten in dem Fleken treibt er wiederum verschiedene Werke, und vereinigt sich so dann ehe er vollends Langenthal verlässt, wird aber nach und nach so vertheilt, und sein Wasser so stark genutzt, dass er sich endlich ganz und gar, und damit auch seinen Namen verliert. An dessen Statt aber entspringt in einem schon in dem Langenthalischen Bezirk sich anfangenden besondern und niedriger gelegenen Thal nach und nach ein neuer starker Bach, so dass ganze Gegenden lauter Brunnquellen sind, auch an verschiedenen Orten auf einmal ganze Bächlein des reinsten Quellwassers hervordringen, und alles dieses kann kein anders Wasser seyn, als eben die so stark vertheilte und abgeleitete Langeten; dieses neue Wasser wird der Brunnbach genennt, weil er pur Quellwasser ist. Dieser Bach fliesst so dann in dem tiefen, wasserreichen und fetten Thale, bey einer guten halben Stunde lang fort. Nun ist über diesen starken Bach zwischen Langenthal und Murgenthal Ao.1763 eine neue bessere Brücke erbauet worden, über welche die neue hohe Landstrasse geführt wird. Eine ziemliche Strecke darunter vermischt sich der Bach mit dem Flüssghen Roth; es eilt unter diesem Namen dem Dörfchen Murgenthal, und zunächst darunter der Aare zu, welcher er sein Wasser abgiebt.»

7.5. Kulturlandschaftswandel und Gewässerentwicklung

Im Raum der Langete, besonders im Industriegebiet der «Agglomeration Langenthal», sind die Wechselwirkungen zwischen Gewässern und Menschen speziell deutlich ausgeprägt. Wir wiesen bereits hin auf Bilanzverschiebungen und den für die Gesamtlandschaft wie ihre Gewässer so bedeutsamen landwirtschaftlichen Strukturwandel, der zum Rückgang der Wasserwirtschaft führte.

Im folgenden sei vorab die für Gewässer und Wasserhaushalt ins Gewicht fallende *historische* Kulturlandschaftsentwicklung beleuchtet und mit einigen Beispielen aus unserem Untersuchungsgebiet belegt. Sie ist gekennzeichnet durch Rodung, Melioration und Besiedelung, die drei Haupteingriffe des geschichtlichen Menschen in Naturhaushalt und Landschaftsbild.

7.5.1. Ältere Entwicklungsphasen

Versuchen wir, uns ein Bild der Landschaft zu machen, wie sie vor der dauernden und mehr als punktförmigen Besiedelung vorlag: Die nacheiszeitliche Langete hatte über der fluvioglazialen Niederterrasse eine weitere Schotterdecke aufgeführt, sich dabei im Unterlaufe stellenweise und stets neu den eigenen Lauf versperrt. In einer Wasser-, Schutt- und Gebüschwüste zerteilte sie sich beim Ausgang in die Hardebene in verschiedene Arme. Hochwasser lief Richtung Aarwangen und Murg ab; bei mittlerem Stand dürfte es im Grienland zu völliger Versickerung gekommen sein. Alte Karten und Beschreibungen enthalten Darstellungen dieser Verhältnisse, doch ausnahmslos in unstimrender Weise. Denn zur Zeit der frühen Darstellungen (z.B. Schoepf-Karte 1578, Fig. 95) lagen die Verhältnisse längst anders, hatten doch die Zisterzienser von St. Urban 1230 eine Langeteableitung unterhalb des alten Langatu Richtung Roggwil vorgenommen. (Die alten Verhältnisse aber wurden, kartiert und geschrieben, noch jahrhundertlang kolportiert.)

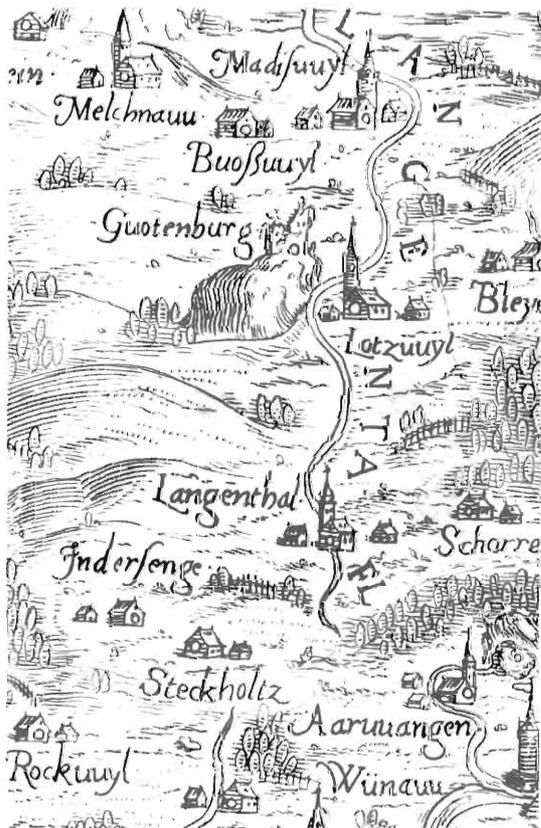


Fig. 95 Ausschnitt aus der Berner Karte von Th. Schoepf, 1578 (Karte südorientiert). Versickerungsarm der Langete unterhalb von Langenthal und Neubildung eines Flusslaufes zwischen Wynau und Roggwil.

Über die genannte Ableitung der Langete unterhalb Langenthals ist wenig genaues bekannt, was uns seinerzeit der zuständige J. R. MEYER, bestätigen musste. Ohne Zweifel aber wurde sie von den St. Urban-Mönchen nicht bloss vorgenommen, wie bislang angenommen, um Wässerwasser auf ihre Roggwiler Matten zu erhalten. Ableitung und Bettausbau erfolgten im allgemeinen Unternehmen des grossen Meliorationswerks, darin a) insbesondere zur Verminderung der Überschwemmungen in der dafür speziell prädestinierten Akkumulationsebene und b) zur Vereinigung der verschiedenen, ebenfalls zuviel wässernden und schuttführenden Versickerungsarme des Flüsschens auf den damit besser nutzbaren Wässermatten.

Was die ehemaligen Lauftrassees der Langete betrifft, dürfte ein früher Hauptarm westlich von Lotzwil dem Hügelfuss von Brandholz-Schoren gefolgt und im Wolfhusefeld versickert sein. Ein anderer Arm mag vom Mäander bei der Badeanstalt Langenthal weg in Richtung der Rinne von Aarwangen aarewärts verlaufen sein.

Lange gab zu Diskussionen Anlass die durch die Zisterzienser von St. Urban getätigte Langete-Ableitung von 1230, deren Ansatzort und Teilstück wie der vorangehende Flussverlauf. Einen Fixpunkt stellte die Langenthaler Mühle dar, die vor 1230 bestand und von der Ableitung nicht tangiert (d. h. aufs Trockene gesetzt) hatte werden können! Gemäss der darunter folgenden Linienführung des Flusses, insbesondere was die zahlreichen Mäander bis zum Brüel, Roggwil und den darauffolgenden stückweise deutlich geradlinigen Verlauf betrifft, können wir den Anschluss des Mönchskanals recht genau festlegen: die Abzweigung erfolgte höchst wahrscheinlich an der NW-Ecke des Brüelwaldes. Diese These wird gestützt durch die lokalen Reliefverhältnisse und Beobachtungen über einen grossen, auffällig mit Ablasswerken aus Solothurnstein ausgestatteten «Wässergraben», der heute aufgefüllt ist und der via Brunnmatten den ehemaligen Langetelauf darstellen dürfte.

Die frühen Siedler haben vorerst in Form der *Rodung* in die Landschaft eingegriffen. In welcher bedeutender, auch hydrologisch relevanter Weise aber später noch Veränderungen des Waldareals vor sich gingen, belegen die Fig. 96–98 und Kartenbeilage 9.2.

In zweiter Linie griff der Mensch durch *Bodenverbesserungen* in die Landschaft ein. Und ein grosses Meliorationswerk unserer Gegend liegt in den Wässermatten vor: Die Mönche von St. Urban, die im 12./13. Jahrhundert die Hauptarbeit zur Anlage des Bewässerungssystems leisteten, hatten vorerst die Geschiebe-Gesträuch-Wüste urbar zu machen, vorweg also auch zu entwässern. – Sowohl *Wasserwehr* wie *Wassernutzung*, Entwässerung wie Bewässerung sind kennzeichnend für die Kulturlandschaftsgeschichte des Langetentals.

In dritter Linie und besonders in neuerer Zeit werden Bild wie Haushalt der Landschaft gestaltet durch die *Siedlung*; im Wasserbereich sind wichtigste Folgen davon die konzentrierte Verschmutzung durch Abwasser und der Rückgang von Oberflächengewässern wie Grundwasser durch überbaute Areale (Kanalisation und Abflussbeschleunigung). Ein Übersichtsbild des siedlungslandschaftlichen Wandels seit dem Mittelalter vermittelt die Schoepfkarte von 1578 (Fig. 95). Als Beispiel einer räumlichen Sied-

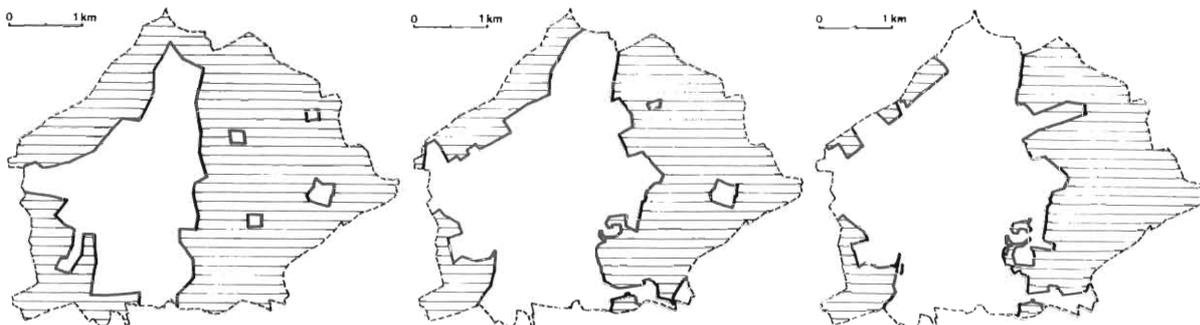


Fig. 96–98 Gemeinde Langenthal, Ausdehnung des Waldes um 1400 (ca. 850 ha), 1810 (ca. 730 ha) und 1959 (575 ha, ca. 40% des Gesamtareals von 1143 ha). Nach urkundlichen Angaben und Grundbuchplänen.

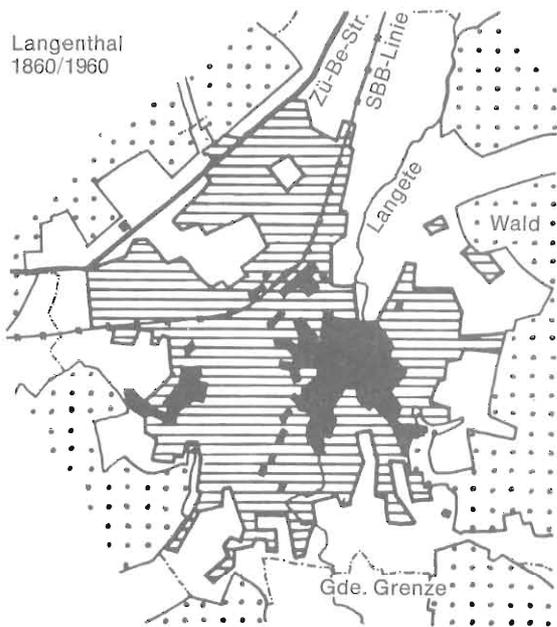


Fig. 99 Flächenmässiges Siedlungswachstum innerhalb eines Jahrhunderts. In der Nachkriegszeit stärkste Ausdehnung gegen die Zürich–Bern-Strasse ins Hardfeld (Überbauung des wichtigsten Grundwasservorkommens!)

lungsentwicklung stehe dasjenige von Langenthal (Fig. 99, Karte 9.2.). Dessen Ausdehnung in jüngerer Zeit hat u. a. auch das Grundwasser seinen Tribut zu zollen (Rückgang zufolge Überbauung früherer Versickerungsareale).

Wie der Fluss entscheidend die Siedlungsentwicklung beeinflussen kann, sei kurz am Falle Langenthals belegt, insbesondere was das siedlungsgeographische Kuriosum des «städtischen Dorfkerns» betrifft. Dieser ist als einziger Ortsteil in geschlossener Bauweise erstellt, und doch ist er nicht die «Altstadt», wie der Augenschein vermuten lässt. Hier bestand entlang der Langete mitten im Dorfe bis in die Neuzeit ein freier Landstreifen, der Überschwemmungsgefahr wegen mit Bauverbot belegt (Fig. 100). Langenthal besass also speziellerweise eine «innere Allmend», wie urkundlich bezeugt ist (MEYER, 1960). Erst an der Wende vom Bauerndorf zum Handelsfleckchen, im 17./18. Jahrhundert, wurde darin gebaut; als erstes Gebäude ein grosses Korn- und Kaufhaus. Seine Bedeutung betonend, wurde es mitten in die innere Allmend auf die Langete gesetzt. Die Überschwemmungen nahm man in Kauf. Schicksalhaft hatte sich in dieser wesentlichen Wandlungszeit das ausgesparte Areal geradezu angeboten zum Bau des neuen Siedlungszentrums längs der heutigen Marktgasse, das demnach trotz seines klein-altstädtischen Citycharakters das jüngste historische Bauelement der Siedlung darstellt (dazu auch Fig. 101).

7.5.2. Das Irrigationssystem an der Langete

Das Bewässerungssystem der Langetematten (sog. «Wässermatten») ist von eminenter hydrologischer Bedeutung, insbesondere was die dadurch erfolgende halbnatürliche Grundwasseranreicherung und die Hochwasser-Retention betrifft. Die meisten der fluvial oder fluvioglazial zugeschotterten Böden der Sohlentäler im zentralen schweizerischen Mittelland zwischen Reuss und Emme wiesen vom Mittelalter bis in die letzte Zwischenkriegszeit derartige Wässerwiesenareale auf. Doch scheinen keine durch Ausdehnung, Anlage und Rechte derart systematisiert gewesen zu sein wie diejenigen an der Langete. Und nirgends sonst haben sich bis in die jüngste Zeit Areale in Ausdehnung und alter Ordnung erhalten wie hier, obschon ihr Abgang in den letzten 3 Jahrzehnten stark und stetig vor sich geht (Beilage 9.2., Fig. 103–107).

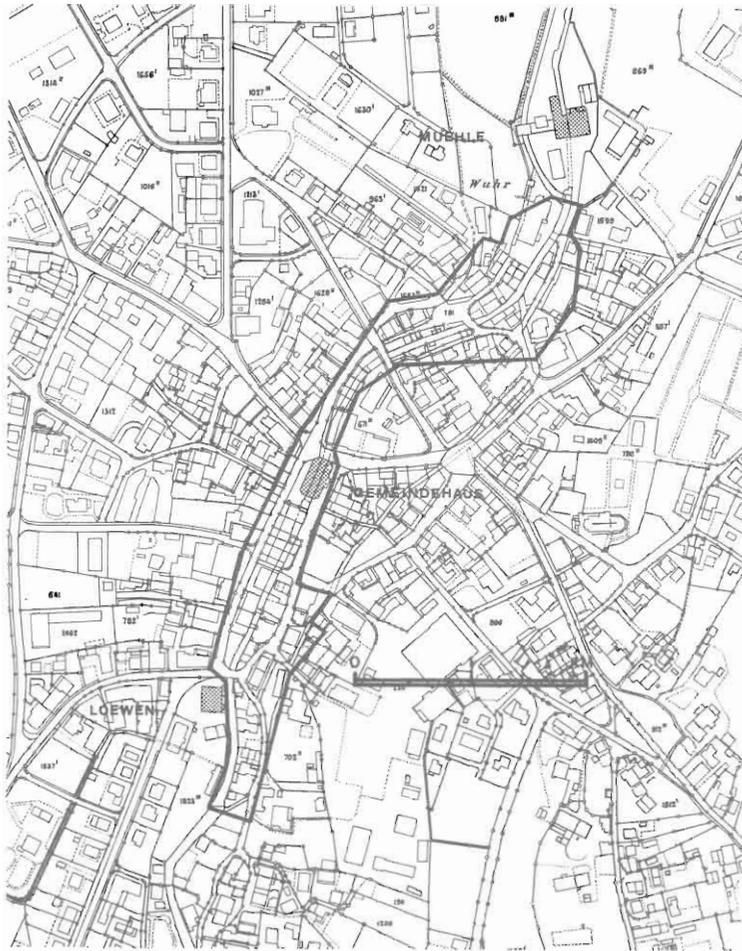


Fig. 100 Langenthal, Dorfkern mit Langete und Markt-gasse. Einge-tragen nach dem «Dorfplan von 1800» die «Alte Dorf-march», davon umschlossen die sogenannte «innere Allmend», die der Überschwemmungen wegen bis ins 17. Jahrhundert als unüberbauter Raum ausgespart blieb. Repr. mit Bew. V+D vom 1. 7. 1974.



Fig. 101 Langenthal, nach Übersichtsplan 1:10 000 (1970). Koordinatenabstand: 1 km. Strichpunktiert eingetragene «pro-jectierte Wasserabteilung» nach dem Plane von Brenner 1760. Eine sehr frühe Korrek-tionsstudie! Umfahrung des damaligen Dorf-kerns, wie aus dem heutigen Plane noch deutlich ersichtlich. Repr. mit Bew. V+D vom 1. 7. 1974.

PLAN

Eines Theils des Langeten Bachs, von welchem die Güther in dem Twing Madiswyl gelegen, jetz gewässert werden, samt denen dirmahligen Schwellinen, Brätschen, auch denen zuvord ablaufenden wässerungs-Gräben, aus Anlass der wässerungs-Streitigkeiten zwischen dem H. Abbt Löb: Gottshaus St. Urban ein: und der Gemeint Madiswyl andertheils: Geometrisch in Grund gelogt auf hohen Befehl durch J. A. Riediger, Ingen: 1724.

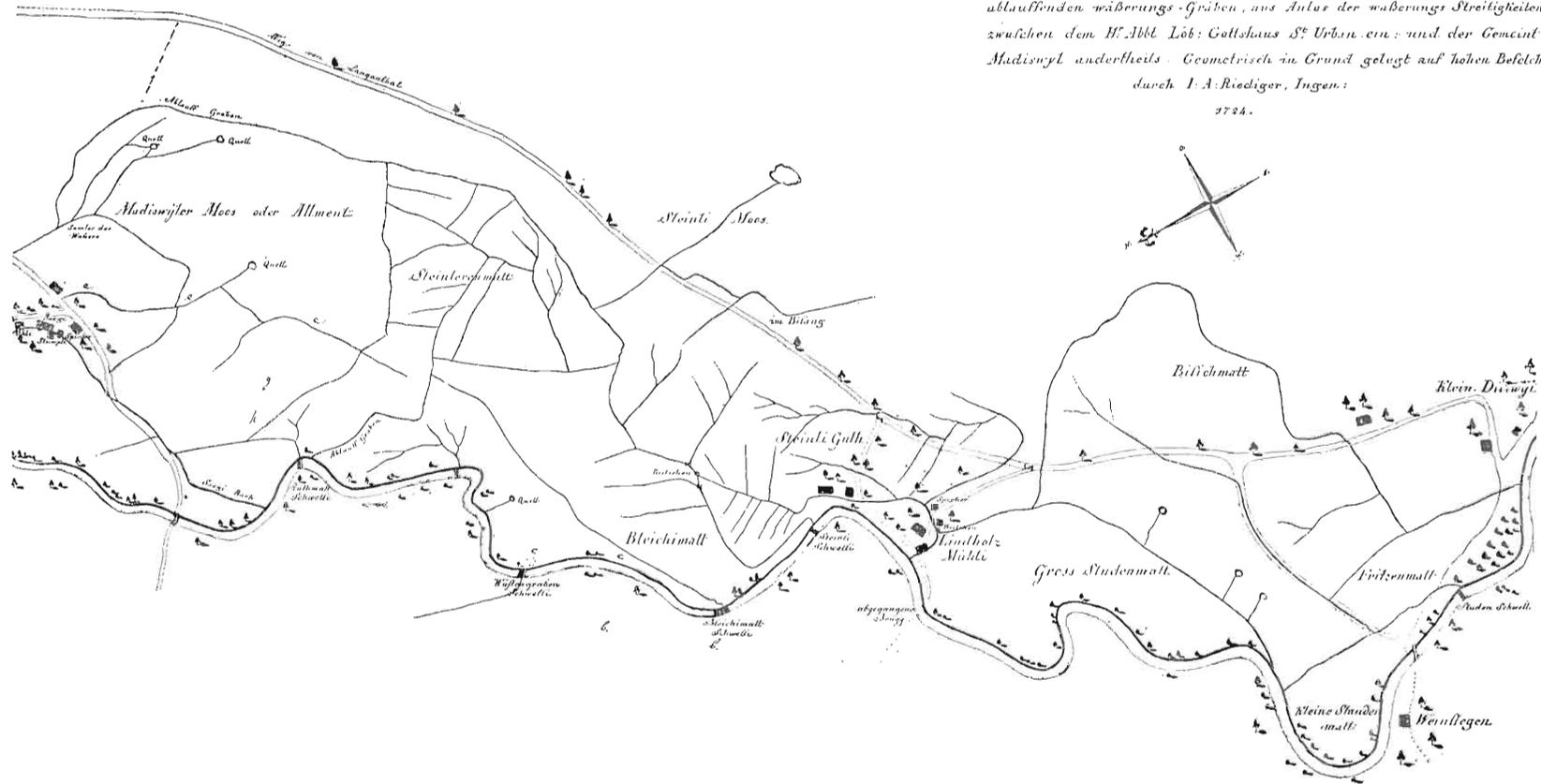


Fig. 102 Ausschnitt aus dem Madiswiler Plan von J. A. Riediger, 1724. Wässergraben und Grundwasserquellen zu einer Zeit, als der ganze flache Talboden der Langete von Wässermatten eingenommen wurde. Der obere «Quell» im östlichen «Madiswylers Moos» liegt in dem Gebiet, worin 1894 Grundwasserquellen für die Gemeinde Langenthal gefasst wurden. Alle die 1724 bestehenden Quellen sind heute versiegt. Staatsarchiv Kt. Bern. Aus: FLATT, Die Errichtung der bernischen Landeshoheit über den Oberaargau. Bern 1969.

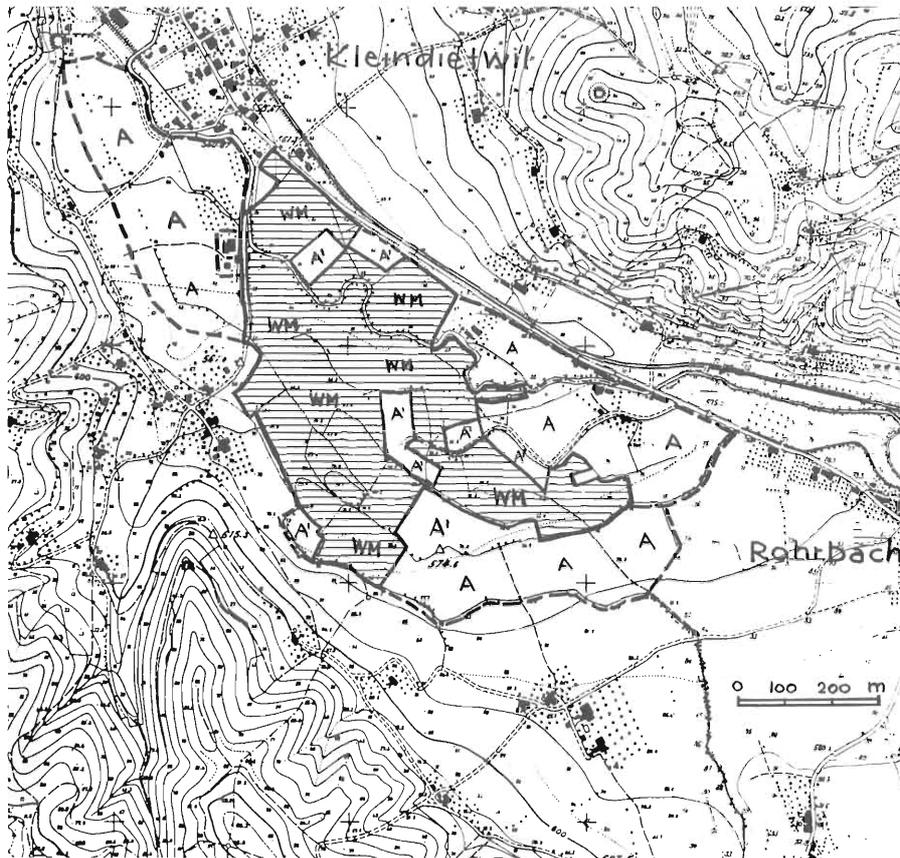
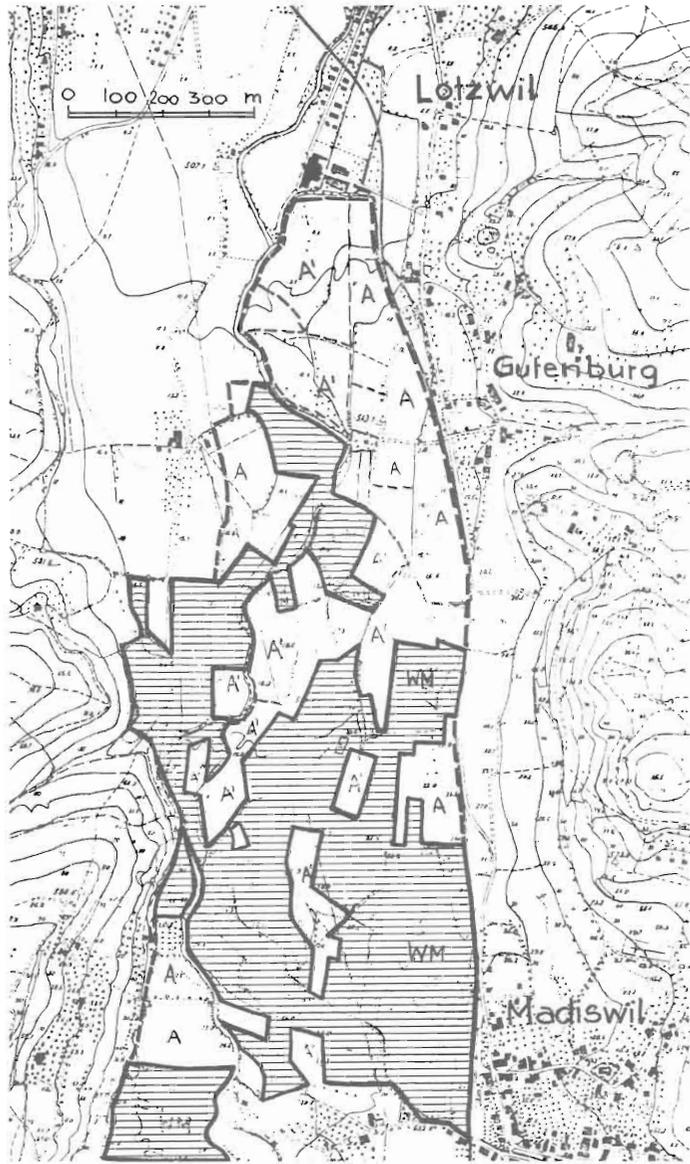


Fig. 103 Langete, Talabschnitt Rohr bach – Kleindietwil. Wässermattenareale, Kartierungsstand 1970. Nach Grundbuchübersichtsplan 1:10 000. WM = ganz oder gutteils nach alter Regel bewässert. Alle andern Bezeichnungen betreffen ehemaliges Wässermattengebiet: M' = heutiges Mattland, stellenweise bewässert ohne Regel, M = Mattland, A' = erst in den letzten Jahren aufgelassene Wässermatten, A = Ackerland auf ehemaligem Wasserareal, das nur noch stellenweise als solches erkennbar ist (gestrichelt umrandet). Die Legende gilt auch für Fig. 104–107. Repr. mit Bew. V+D vom 1. 7. 1974.

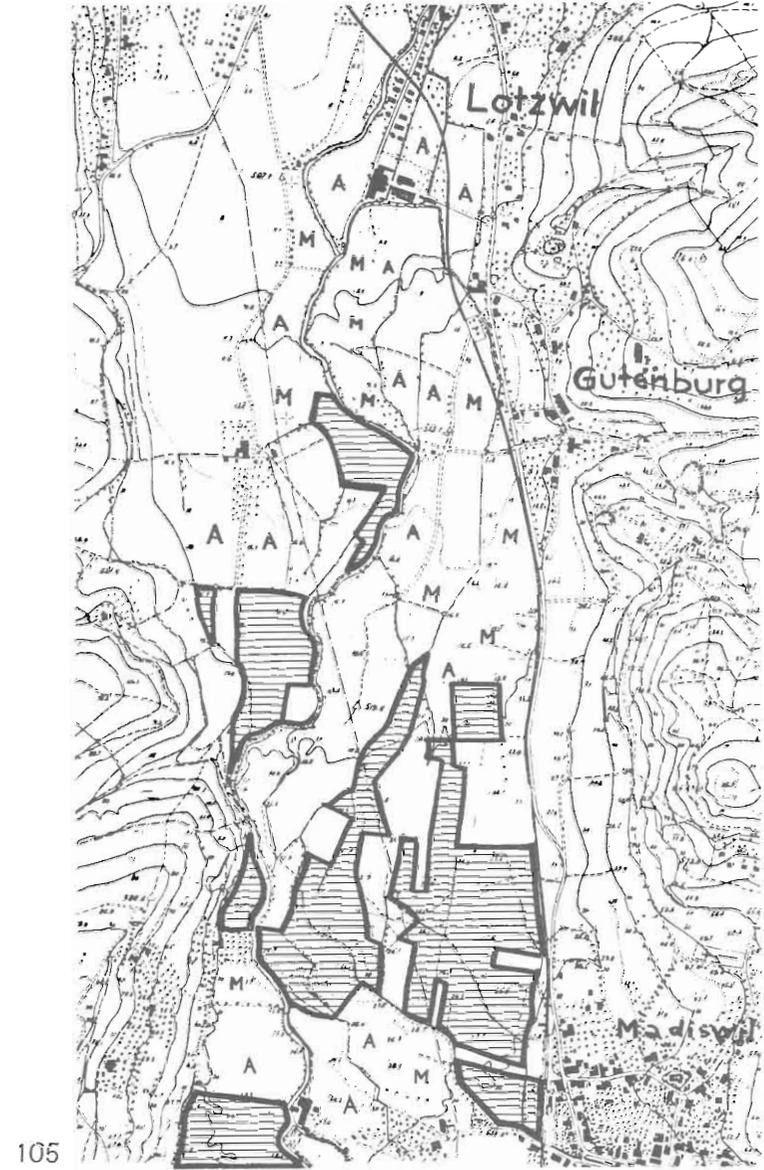
Zur Charakterisierung von Landschaft und Wässersystem der Langetematten zwischen Rohr bach und Roggwil sei festgehalten, dass sie als das typische landschaftliche und landwirtschaftliche Element dieses Tales zu bezeichnen sind (Abb. 30–34). Geschichte, landschaftliche und hydrologische Bedeutung sind oft verkannt worden, zumal die damit verbundene Grundwasseranreicherung wie auch Alter, spezielle Wuchsform und Filterwirkung der Grasnarbe, deren tiefgründigem, besonders dicht verfilztem Teppich wasserreinigende Bedeutung zukommt (historisch gesehen wurden die Wässermatten nicht von ungefähr in Urkunden als «ewige Wiesen» bezeichnet).

Das vom Talfluss gespeiste System der unzähligen, netzartig das Gelände zerteilenden Chänel, Graben und Grebli stellt eine tausendjährige Einrichtung dar: Bereits für das 9. Jahrhundert ist die Wässerung urkundlich bezeugt. Die Zisterzienser von St. Urban aber, denen von der Ordensregel aus die Urbarisierung des Bodens geboten war, sind die eigentlichen Begründer der Langete-Wässerrige.

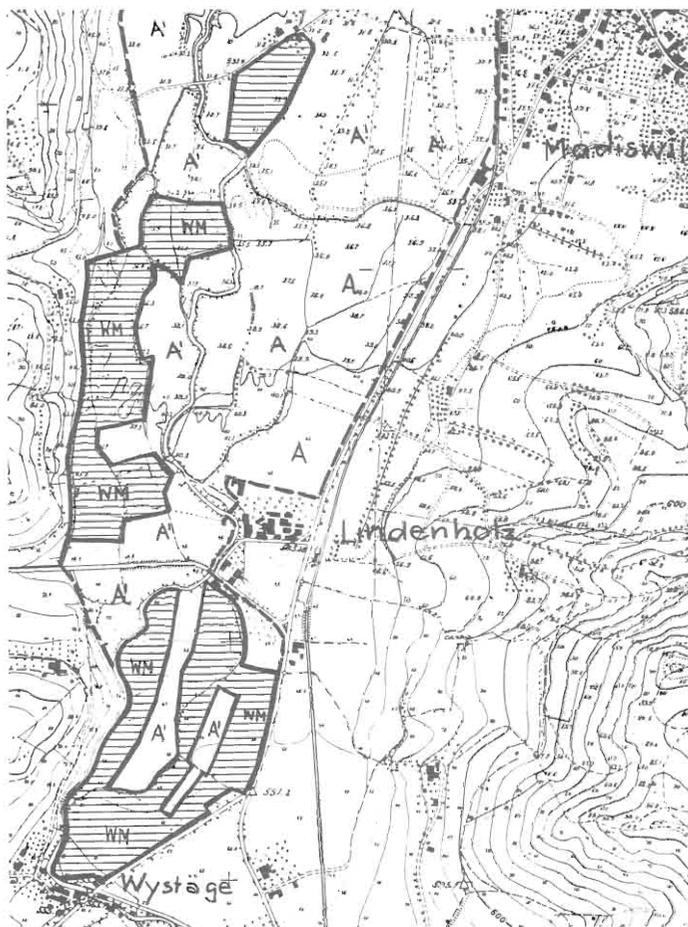
Die heute noch eingehaltenen Wässerzeiten gehen zurück auf eine Vereinbarung zwischen Abt von St. Urban und Gemeinde Langenthal von 1595. Für die «Wässerungen der Langete von der Schwelle beim Kaufhaus in Langenthal abwärts bis auf die Wasserfelder von Roggwil» hat in grossen Zügen das Wasser-Reglement von 1894 Geltung. Es bestimmt vor allem die nachbarliche Zuteilung des Wassers, an Langenthal von Montag bis Donnerstag, an Roggwil von Freitag bis wieder zum Montag. Gar nicht immer in der Geschichte ging es freundschaftlich zu unter den verschiedenen Anstössern der Lan-



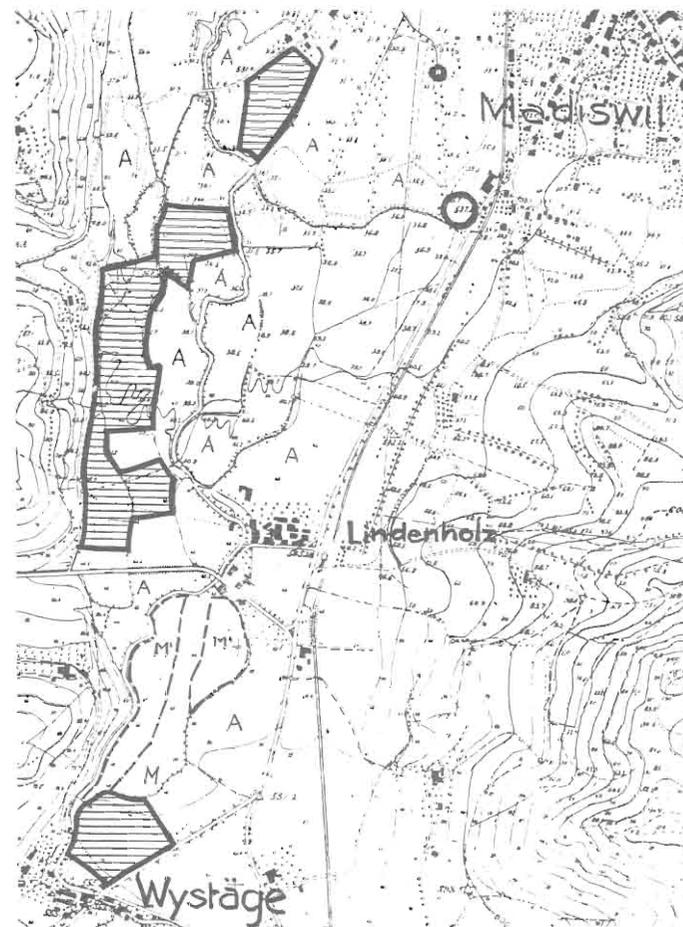
104



105



106



107

Fig. 104–107 Langete, Talabschnitte Kleindietwil (Wystäge)–Madiswil–Lotzwil. Wässermattenareale. Nach Grundbuchübersichtsplan 1:10 000. Massstab oben gilt für alle 4 Figuren.

Fig. 104/106 Kartierungsstand 1970, Fig. 105/107 1973. Legende siehe Fig. 103. Kreise: Grundwasserfassung und Brunnstube der Gemeinde Langenthal. Repr. mit Bew. V+D vom 1. 7. 1974.

gete, dem Kloster St. Urban (indirekt als Grundherrin der Gegend), denen von Utzingen auf Gutenberg, den Luternauern in Langenthal und den Bauern des Tals, die sich im wahren Wortsinne «das Wasser abgruben». Aus alten Protokollen solcher Streitigkeiten zeigt sich uns die Bedeutung der Wässerung und der Wässermatten deutlich auf.

In den untern Langenthaler Matten ist von der Wässergenossenschaft Steiachergrabe noch heute ein «Bannwart gesetzt, der nach bestehender, alter Übung» erst die grosse Steiacher-Schleuse an der Langeten zieht, hernach tags- oder halbtagsweise, je nach der Trockenheit, die Brütschen und Ablisse zu den einzelnen Mattengrundstücken (weitere Details siehe LEIBUNDGUT, 1970).

Gruppen von Büschen und Bäumen säumen die unzähligen Wässerrinnsale und bieten einer für heutige Verhältnisse ungewöhnlich grossen Vogelwelt Wohnstatt, und die Leute aus den lauten Dörfern des Verkehrs und der Industrie lieben zur Erholung diesen schönen Aufenthalt. – Was die dringende, stete Anreicherung des Grundwassers für die Zukunft unseres Gebietes betrifft, sei im folgenden auf die besondere, hohe Bedeutung der Wässermatten hingewiesen.

7.5.3. Grundwasseranreicherung durch Wässermatten

Den allgemeinen Grundwasserschwund im Langetental – und in Nachbargebieten, die ähnliche Verhältnisse aufweisen – führen wir im wesentlichen auf den Abgang des besprochenen Bewässerungssystems zurück, auf den Wegfall von deren Versickerungsflächen. Kartenbeilage 9.2. vermittelt eine

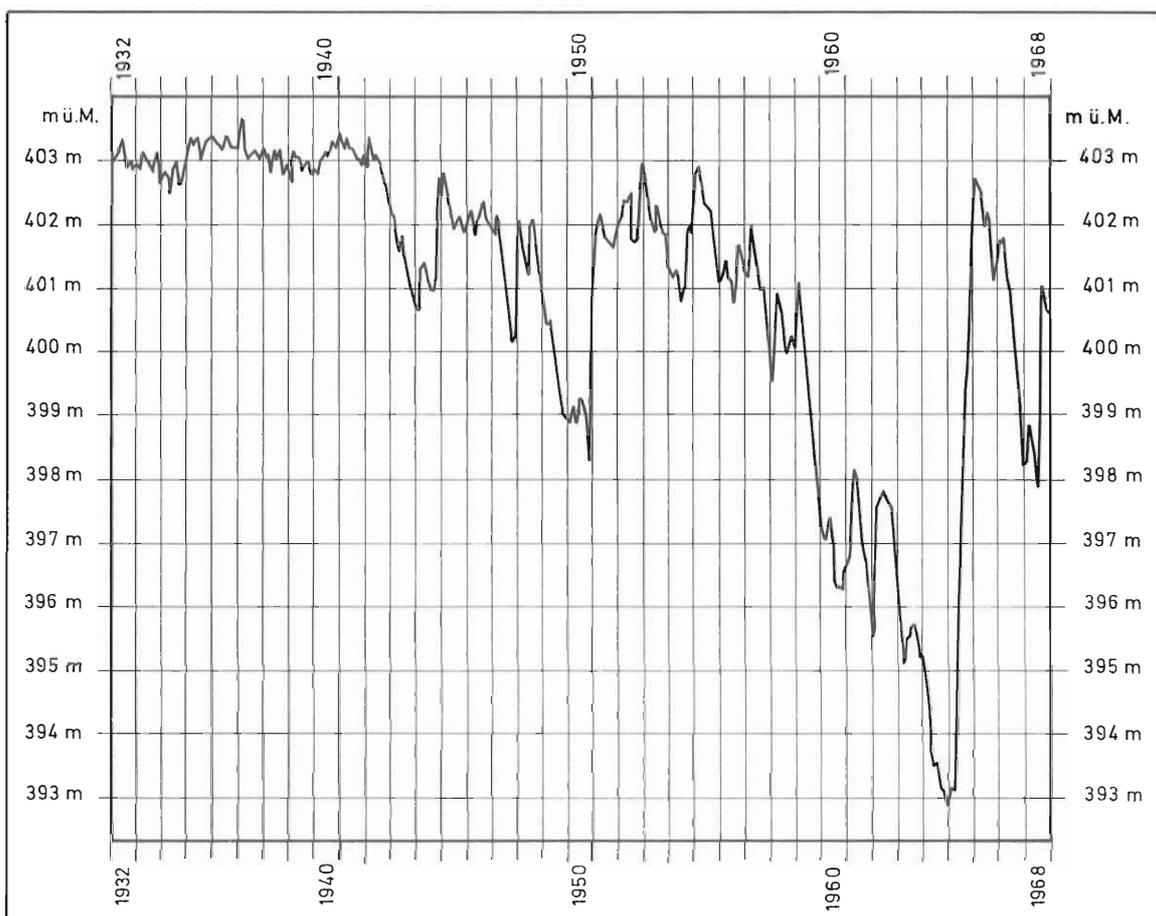


Fig. 108 Grundwasserspiegel im Suhretal oberhalb Suhr (Wasserwerk der Stadt Aarau in den Brüelmatten) vor und nach Aufgabe der Wässerriesenwirtschaft. Aus SCHMASSMANN 1970

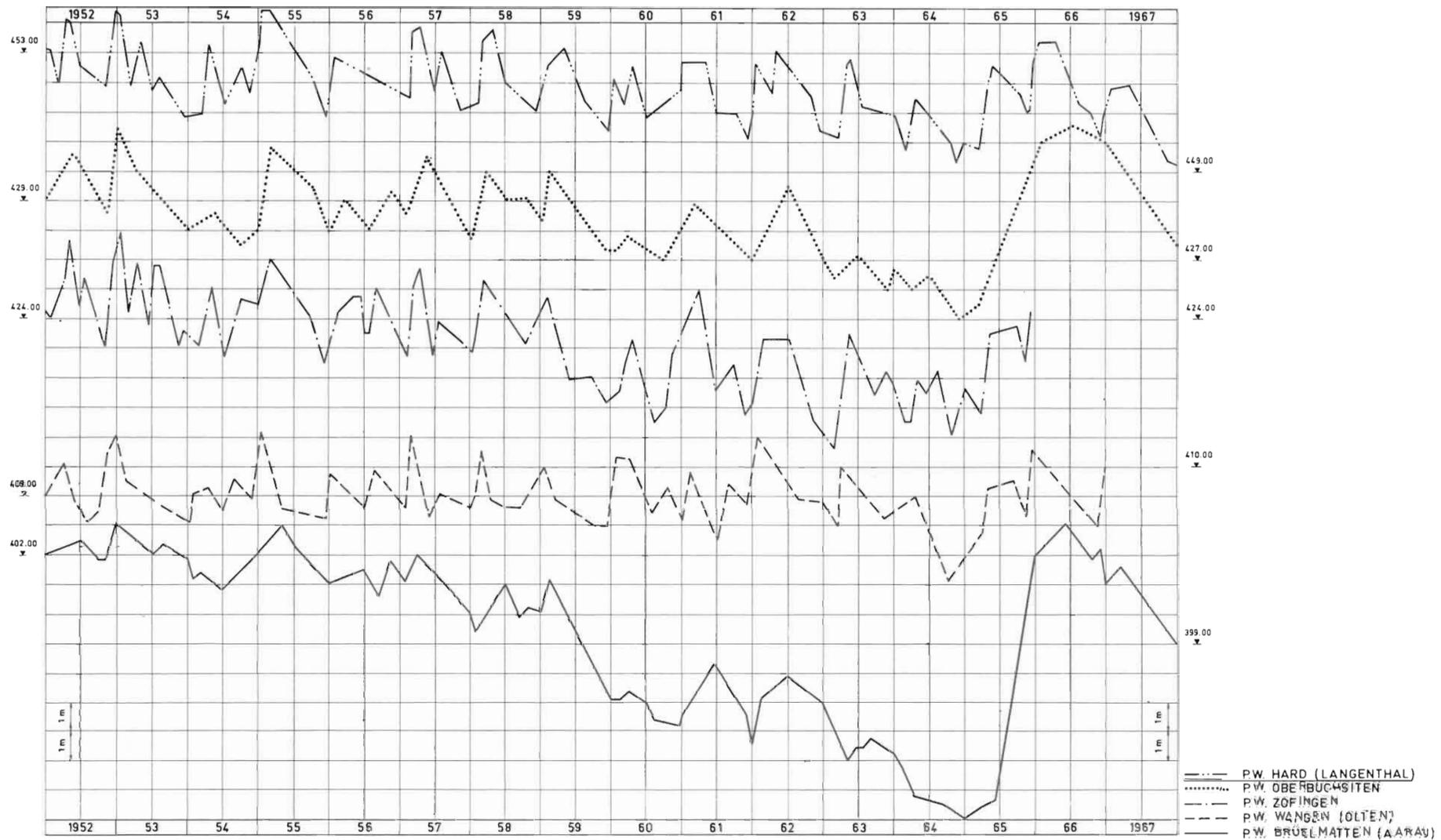


Fig. 109 Allgemeine Spiegelsenkung in der Periode 1952–1964 in verschiedenen Grundwasservorkommen des zentralen schweizerischen Mittellandes. Nach RYSER/Industrielle Betriebe Gemeinde Langenthal.

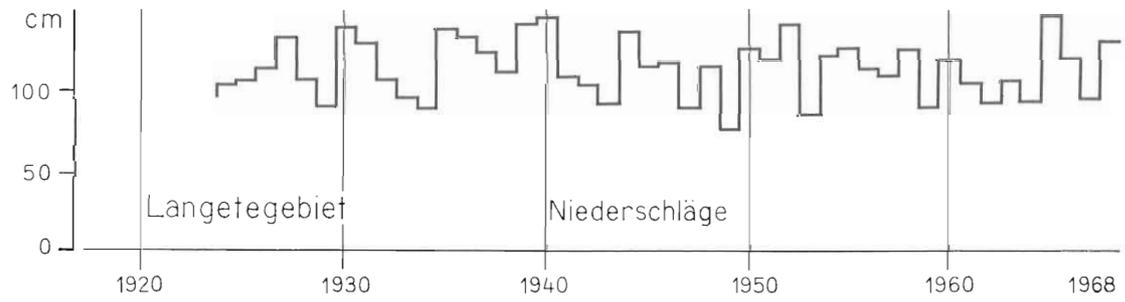
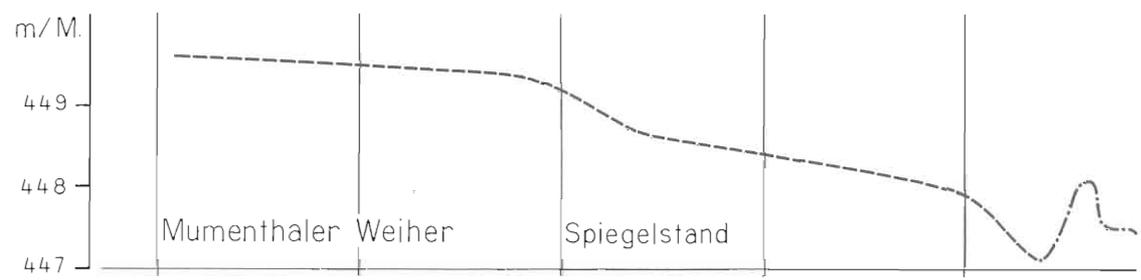
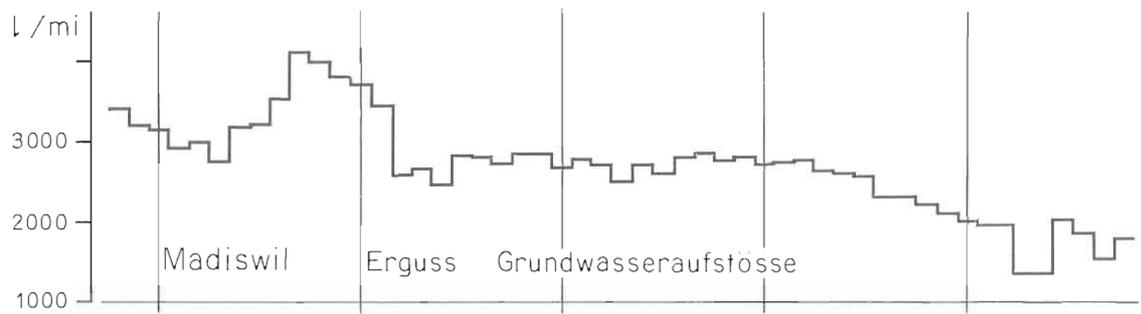


Fig. 110 Entwicklung der Grundwasser-Verhältnisse im Raume der untern Langete. Unten die entsprechenden jährlichen Niederschlagshöhen (Mittel der Niederschläge von Affoltern i. E. und St. Urban).

eindrückliche Ahnung dessen, was an Verlust von Wässermatten-Versickerungsareal zu verzeichnen ist. Unsrer urkundlichen Erhebungen und kürzlichen Kartierungen ergeben gemäss Perimeter der erwähnten Hydrogeographischen Karte 9.2. für den ursprünglichen Stand (bis ca. 1910): 440 ha, für 1973: 120 ha (Fig. 103–107).

Leider ist die Tragweite dieser Zusammenhänge erst spät erfasst worden. So sind zu einer Zeit, als noch weite Flächen intakter Wässermattengebiete in günstiger Lage, beispielsweise im mittleren Langgetal nach dem letzten Kriege, bestanden, die entsprechenden Schritte unterlassen worden. Sie hätten unter relativ geringem Aufwande zu einer teilweisen, doch erfolgreichen Sanierung der Grundwasserhältnisse geführt.

Der Grundwasserdurchgang im Profil Madiswil darf für die Vorkriegszeit, als ein noch fast völlig geordnetes Wässersystem bestand, auf 40 000 l/min. veranschlagt werden; der heutige Durchfluss beläuft sich auf ca. 25 000 l/min. Alle die früher im Tal der Langete ausgetretenen Grundwasser, wie beispielsweise im Plan von Riediger 1724 als «Quell» eingetragen (Fig. 102; FLATT 1969), sind versiegt. Im selben Zeitraum ist im untern Langetegebiet der Grundwasserspiegel um rund 1.5 m gefallen (Hard) und sind von den ehemals 50 Grundwasser-Quellen der Brunnmatt deren 30 versiegt.

Für das Suhretal hat SCHMASSMANN (1970) den katastrophalen Grundwasser-Rückgang zufolge vollständiger Aufgabe der Wässersiesenwirtschaft untersucht: Der Spiegel des Grundwassers sank bis 10 m ab, der Durchfluss fiel von 30 000 l/min. auf 12 000 l/min. Zudem begann der vorher sehr konstante Spiegel stark zu schwanken (Fig. 108). Dasselbe ist unten in Fig. 109 vergleichend dargestellt.

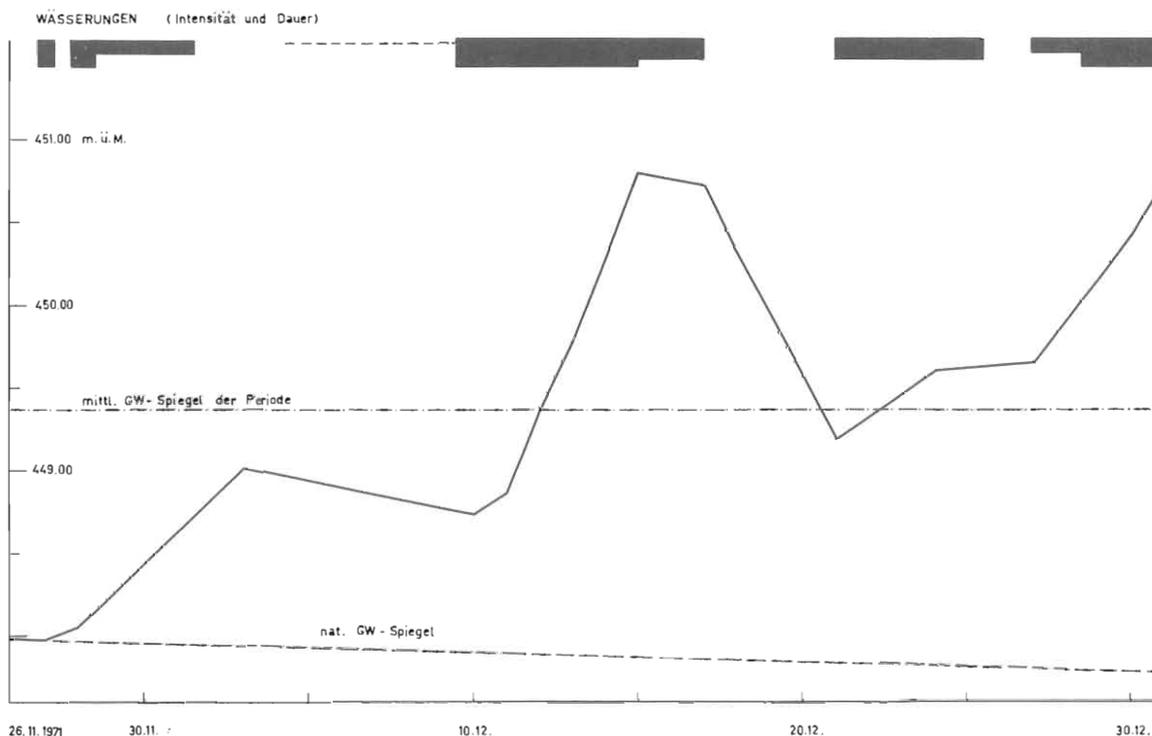


Fig. 111 Langenthal, Untere Matten. Die Grundwasser-Ganglinie der Messsteile 274 folgt direkt den Wässerungen. Mittlere Differenz zwischen natürlichem Grundwasserspiegel und angereichertem Grundwasserspiegel: 1.39 m. Nach LEIBUNDGUT 1973.

Die Grundwasseranreicherung mittels Wässermatten ist mehr und mehr nun auch durch die Fachleute gewürdigt worden (BIERI, 1949, RUTSCH, 1962, SCHMASSMANN, 1957, 1970, BINGGELI, 1965, 1968, 1970, 1974, LEIBUNDGUT, 1970, 1974). Den Talbauern war dieser Sachverhalt längst selbstverständlich gewesen.

Der Lotzwiler Fassung wurde bei Tiefständen des Grundwassers durch gezielte spezielle Wässerung in wenig Stunden auf die Beine geholfen. Bis in die 50er Jahre konnte die Madiswiler Fassung der Gemeinde Langenthal auf ähnliche Weise bedient werden, sei es indirekt über die normale Wässerung oder durch angeordnete Nachhilfe, wobei der Ertrag jeweils von 2000 l/min. auf über 3000 l/min. anstieg. (Heute sind die entsprechenden Matten gänzlich aufgelassen.) In einem kürzlichen Gutachten (BINGGELI und LEIBUNDGUT, 1973) wurde vorgeschlagen, bestimmte Areale zwecks Überprüfung einer Neuanlage von Wässermatten zu reaktivieren.

Im Brunnmattgebiet, Roggwil, ist der starke Wiederaustritt bestimmter, sonst längst versiegter Grundwasserquellen nach Einsetzen der Wässerung in den untern Langenthaler Matten festzustellen (Löli, Grossmatten). Auch nach Hochwasser der Langete (und den bekannten Seebildungen in den Wässermatten) sprechen derartige abgegangene Aufstösse wieder kräftig an.

Exakte Resultate aus längeren Untersuchungsreihen werden demnächst die Untersuchungen des Geographischen Instituts der Universität Bern bringen (LEIBUNDGUT, 1973). Daraus stammen vorläufig die Angaben über eine Detailstudie einer 35tägigen Wässerung in den untern Langenthaler Matten 1971 (Fig. 111). Es erfolgte ein mittlerer Grundwasserspiegelanstieg von 1.4 m und eine entsprechende Grundwasservermehrung von 800 000 m³. Diese Menge von Wässermattenwasser ist also versickert und «im Raume der Brunnmatt in Trinkwasserqualität wieder zutage getreten. Bei einem mittleren Tagesverbrauch Langenthals von 7500 m³ (SVGW 1970) hätte diese Menge für 53 Tage ausgereicht, wenn wir als nutzbares Grundwasser nur die Hälfte annehmen. Es ist zu beachten, dass es sich um eine gewöhnliche Mattenwässerung handelte, die nicht eigens zum Zwecke der Grundwasseranreicherung getätigt wurde. Durch gezielte Wässerungen könnte der Ausnutzungskoeffizient gesteigert werden» (LEIBUNDGUT, 1973).

Heute gilt es, die frühere Nebenfolge zum Hauptzweck zu erheben und systematisch für Trinkwasserzwecke nutzbar zu machen. Dies ist hydrologisch wie rechtlich zweifellos möglich, es bleibt einzig die Absprache mit der tangierten Landwirtschaft, der eine entsprechende Betriebsausfall-Erschädigung zu erstatten ist. Jedenfalls kann dem Bauer nicht zugemutet werden, eine nach modernen ökonomischen Gesichtspunkten unrentable Wirtschaftsform aus andern Interessen aufrechtzuerhalten. Hier liegt eine politische Verpflichtung von Gemeinden, Region und Staat, die kaum je auf andere Art wohlfeiler zu Trinkwasser gelangen werden!

7.5.4 Flusskorrekturen im Rahmen des Gesamtwasserhaushaltes

Seit urkundlich belegten Zeiten werden Überschwemmungen der Langete gemeldet und seit 1613 besteht die sonderbare Einrichtung der Notablässe des Überschwemmungswassers durch die Gassen Langenthals (dazu 6.1. und 7.5.1.). Schliesslich besitzen wir seit 200 Jahren Hinweise und Projekte für Hochwasser-Schutzmassnahmen. Für Langenthal war bereits 1760 im Brenner-Plan eine «Umfahrung» der Siedlung geplant (Fig. 101).

Dass ein umfassendes Korrektionswerk bisher nicht zur Ausführung gelangte, kann jedoch nicht nur bernischer Bedächtigkeit in Denken, Tun und Geldsache zur Last gelegt werden: Einmal machten nämlich früher die für das Wässersystem benötigten Versickerungsflächen und Dammbauten (die also nicht bloss als Hochwasser-Schutzvorkehrungen errichtet worden waren) eine Korrektion sozusagen überflüssig; seltene Katastrophen nahm man in Kauf.

Zum ändern stellten sich Anlagen und altüberlieferte Rechte einer Korrektur als Hindernisse in den Weg. Heute, wo die Wässermatten stark in Abgang begriffen sind, ist hierin eine ganz neue Situation entstanden; und es ist als Glück zu bezeichnen, dass die Korrekturmassnahmen nun nach neuen Gesichtspunkten der Ingenieur- und Naturwissenschaften vorgenommen werden können. Denn die älteren Projekte lassen uns ahnen, welche einseitig aus technischem Blickwinkel gedachte Eingriffe in Gewässer, Wasserhaushalt und Landschaftsbild erfolgt wären.

Die kürzlich vorgelegten beiden Korrektionsprojekte sehen einerseits Hochwasser-Entlastungsgerinne vor, andererseits eine Ableitung durch Stollen aus dem Einzugsgebiet der Langete hinaus. Beide lassen auch die Möglichkeit von Hochwasser-Retentionsbecken, als Versickerungsareale in Wässermattengebieten, offen.

Die von uns dazu gelieferten hydrologischen Grundlagen machen klar, dass unbedingt eine möglichst naturnahe, den gesamten Natur- und Wasserhaushalt berücksichtigende Lösung anzustreben ist. Diese soll die Anliegen sowohl von Hochwasser- wie Gewässerschutz und Trinkwasserversorgung koordinieren. Und zwar sind sie derart aufeinander abzustimmen, dass nicht die einen dringenden Massnahmen (Hochwasserschutz) die ebenso dringenden andern beeinträchtigen (Grundwasserschutz). Darauf wird speziell unter 7.5.5. eingetreten.

Unsere Vorschläge tragen diesen Forderungen nicht nur Rechnung, sie beinhalten überdies Lösungen, die zu gegenseitiger Unterstützung und beidseitiger Vergrösserung der Wirkungsgrade führen, dies unter dem nachstehend darzulegenden *Konzept des Gesamtwasserhaushalts*. Bereits früher (BINGELI, 1970) sprachen wir einer regionalen und polyvalenten Lösung das Wort, denn sie verspricht sowohl hinsichtlich Wirkungsgrad wie finanziellem Aufwand die günstigsten Aussichten.

Die Überlegungen haben, auch wenn sie vorweg durch unterliegende Gemeinden ins Rollen gekommen sind, das ganze Einzugsgebiet im Auge zu halten. Als polyvalent sodann betrachten wir ein Vorgehen, das örtlich und artlich verschiedene Massnahmen vorsieht und prüft – jedenfalls nicht einen massiven Korrekturingriff in die bestehenden Lauf- und Bettverhältnisse (begradigende, betonierende Kanalisierung).

Im Blick auf das vordringlich zu beachtende Grundwasser, dessen nahe Zusammenhänge mit der Langete und ihren Nebenbächen wir nachgewiesen haben, sind die bestehenden Lauf- und Uferverhältnisse auch für die Zukunft als geeignete Anlage zu bezeichnen, abgesehen davon, dass der Uferunterhalt mancherorts sehr zu wünschen übrig lässt und demzufolge Überschwemmungsschäden vergrössert werden (vernachlässigte Dämme, hier sind Reparaturen nötig und wirksam). An gewissen neuralgischen Punkten dürfte in Hochwasser-Entlastungsgerinnen eine mögliche Methode liegen. Was den früher diskutierten derartigen Lauf Brüel–Brunnbach–Brunnmatt betrifft, so würde dieser bezeichnenderweise ungefähr in der Linie der alten Langete liegen, d. h. derjenigen vor der Ableitung durch die Mönche von St. Urban um 1230! (dazu 7.5.1.).

Was Hochwasser-Entlastungen betrifft, sind sie jedenfalls vom Gesamtwasserhaushalt her nur dann zulässig, wenn damit eine möglichst weitreichende Retention und Versickerung verknüpft wird. Diese ist im folgenden speziell zu erörtern.

7.5.5. Hochwasser-Retention und Grundwasseranreicherung

Die für Wassergrössen bestehende Einrichtung der Überwasser-Ablässe zur Versickerung im Hardwalde stellt sozusagen die heutige Form der Hochwasser-Retention an der Langete dar. Zur Zeit der Sondierungen für die Grundwasserfassung Hard der Gemeinde Langenthal konnten verschiedene Hochwasser in ihrer Wirkungsweise bezüglich des Grundwassers verfolgt werden. Fig. 114 enthält die instruktivsten Beispiele, die einen Spiegelanstieg von 1–3 m zeigen. (Im Gefolge des kürzlichen Hochwassers vom 21./22. November 1972 wurde ein Anstieg von 5 m registriert.) Im allgemeinen sind auch bei ungewöhnlich grossen Hochwassern nach 1–2 Tagen die Überflutungsseen im Hardwalde versickert.

Es erhellt, dass sinngemäss die für das Wässersystem gemachten Aussagen auch für die Frage der Hochwasser-Retention Geltung haben. Allerdings gab nicht die Hardanlage Anstoss und Vorbild zu den vorgeschlagenen Versickerungsbecken. Vielmehr lagen eben gerade die Erfahrungen aus den Wässermatten zugrunde. Mit deren Rückgang, andererseits der verstärkten Grundwasser-Nachfrage, entstand hierin in den letzten Jahren eine Konfliktsituation, die vorauszusehen war.

Die Wässerareale waren seinerzeit gezielt auf dem dazu geeigneten, schluckfähigen Grunde angelegt worden, und solche auf schweren Böden waren bald wieder eingegangen oder blieben sehr beschränkt (Melchnau, Seitentäler der Langete). Das grosse Schluckvermögen kann sowohl im Hardwalde nach

Hochwasser wie bei normaler Wässerung in den Langetematten jederzeit beobachtet werden: Fuss- bis metertief überschwemmte Einmuldungen sind nach Wässerung wie Hochwassern in einigen Stunden trockengelegt.

Zur Abklärung von Randbedingungen und Vorfragen über Lage, Art und Ausdehnung allfälliger Hochwasser-Rückhalteräume im Langetental wurden vorläufig die Wässerungsareale des Talbodens von Rohrbach bis Lotzwil kartiert (Fig. 103–107). Darin sind bereits durchwegs Äcker oder zumindest nur mehr unsystematisch oder gar nicht mehr gewässerte Areale verteilt (Abb. 25 und 31). Drei Teilgebiete können vorläufig gemäss den Aufnahmen in 1:10 000, was allgemeine Lage, Ausdehnung und Erhaltung des Wässersystems wie der Höhenverhältnisse und Siedelungen betrifft, in erster Ausscheidung als geeignete Räume vorgeschlagen werden (Rohrbach, Lindenholz, Madiswil Nord; BINGGELI und LEIBUNDGUT 1973).

Mittels dieser Retentions-Versickerungsbecken könnte demnach in mehrfach begünstigender Weise den Anliegen des Hochwassers- wie des Grundwasserschutzes Genüge getan werden: Retendierte und unschädlich gemachte Spitzenwasser tragen, wie die Mattenwässerung, die in den übrigen Zeiten in den Becken normal fortgeführt werden könnte und müsste, zur Anreicherung des Grundwassers bei. In sehr systematischer Form weiterentwickelt, dürften die Wässermatten übrigens auch für die Landwirtschaft künftig wieder eine besondere Bedeutung erlangen. (Bereits zeichnet sich nämlich ab, dass wohl vermehrt wieder auf eine «gesunde» Naturgraszusammensetzung, wie sie in den Wässermatten besteht, zurückgegriffen werden dürfte, da krankhafte Erscheinungen im Stall auf die einseitige Kost der Kunstwiesen zurückzugehen scheinen.)

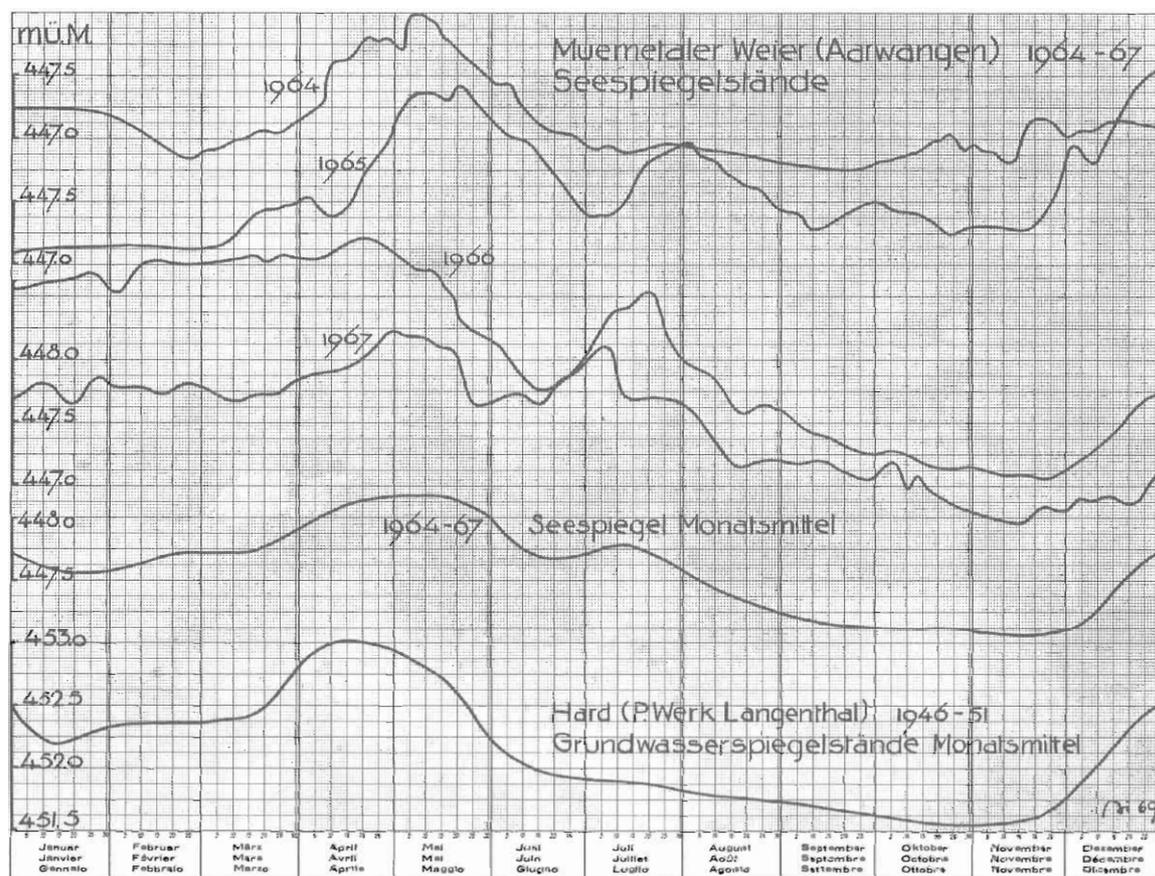


Fig. 112 Spiegelstands-Ganglinien und Monatsmittel 1964–67, des Muemetaler Weiers, verglichen mit Grundwasserständen im benachbarten Hard, Langenthal.



35



36

Abb. 35/36 Aarwangen, Muemetaler Weier. Ursprünglich ein Grundwassersee, entstanden durch Abdämmung von Grundwasseraufstößen. Strandplatte als Zeuge des Grundwasserrückgangs. Im Bild rechts Pegelstation A+W, wobei der untere dunkle Teil der Platte den ehemaligen mittleren Spiegelstand bis ca. 1950 anzeigt. Aufn. H. Scheidiger 1974

Abb. 37 Roggwil/Wynau, Brunnmatten. Postglaziale Rinne der Langete mit zahlreichen Austritten des Grundwassers. Wässermatten fast vollständig abgegangen. Vorn Grundwasseruntersuchung in Piezometerrohr. Mitte links Limnigraphenstation WEA am Mattenbach. Aufn. Verfasser 1974

Abb. 38 Roggwil, Grundwasserquelle «Aufstoss I» unterhalb des Muemetaler Weiers. Messstelle bei Ausfluss des Quellbaches aus dem alten Wässerungswehr. Aufn. Verfasser 1974

37

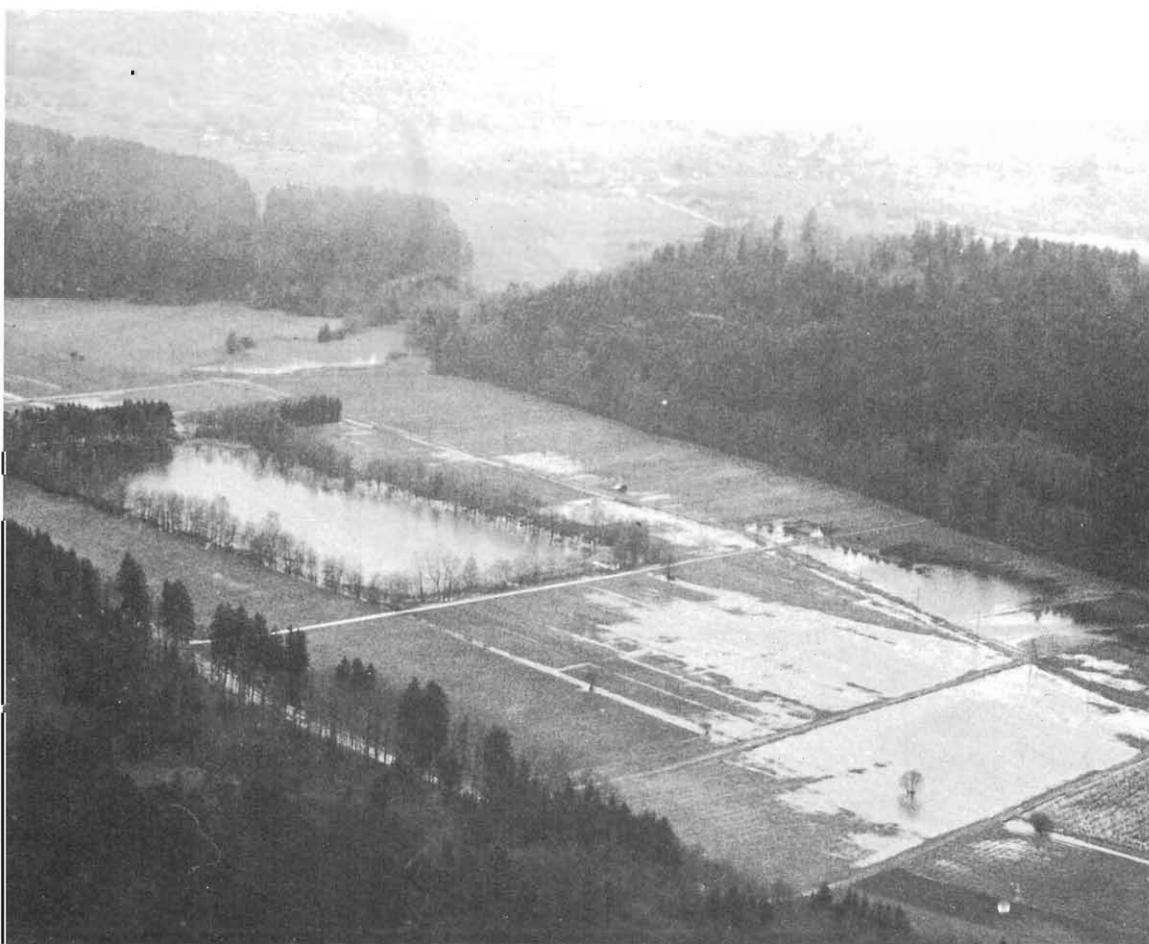
38





Abb. 39 Kleindietwil. Langete und Wassergebiete oberhalb des Dorfes mit Überschwemmungsercheinungen, geflogen einen Tag nach dem ausserordentlichen Hochwasser vom 22./23. November 1972. Sehr gute Durchlässigkeit der Wässermatten-Schotterböden, die am Vortag noch schuhtief unter Wasser lagen. Aufn. Verfasser

Abb. 40 Bleienbach, Moos. Flugfoto, entsprechend Bild oben, vom 24. November 1972. Langsame Infiltration des Überschwemmungswassers vom Vortage. Schwere, wenig durchlässige Schotterböden, ungeeignet als Irrigationsgrundlage. Aufn. Verfasser



7.6. Zur hydrogeographischen Karte der Langete

Einige Beispiele mögen beleuchten, welche gerauschte Entwicklung das menschliche Wirken in der Landschaft während des letzten Vierteljahrhundertes nahm (ungefähr seit dem Weltkrieg), welche gewaltige Eingriffe auch ins Gewässergeschehen erfolgten. Die weitreichende, insbesondere aber hydrologische Bedeutung des Irrigationssystems der Langetematten wurde dargestellt; es bleibt nachtragend zu betonen, dass bis zum letzten Kriege das heute fast zerstörte Meliorationswerk eines Jahrtausends noch beinahe vollständig funktionierte – auch als Grundwasseranreicherung. Die kurzzeitige Entwicklung der letzten Jahre ist den Kartierungen der Wasserareale von 1970 und 1973 zu entnehmen (Fig. 103–107).

In der selben Zeitspanne ist die Auswirkung der Grundwasserfassung Hard zu beobachten, die selbstverständlich nur einen Teil beitrug zum Spiegelrückgang von -1.4 m. Der allgemeine Grundwasserschwund aber stellt die am stärksten einschneidende hydrologische Folge der modernen Landschaftsveränderung dar.

Eine schöne Möglichkeit, an der Oberfläche die Entwicklung des Grundwassers zu verfolgen, bietet der Muemetalter Weier zwischen Aarwangen und Wynau. Er geht teilweise auf natürliche, teils auf Entstehung als Wasserweiher zurück (1602; LEIST, 1935, SCHMASSMANN, 1957). Wie die Kurvenverläufe in Fig. 112 bezeugen, besteht zwischen dem Seespiegel und demjenigen des umgebenden Grundwassers eine recht nahe Beziehung – und wir ersehen aus den Zahlen (wie an Ort und Stelle aus der hellgefärbten «Strandplatte») den Grundwasserrückgang (dazu BINGGELI, 1968).

Der Rückgang des Weihers ist sehr vielseitig durch die allgemeine kulturlandschaftliche Entwicklung gesteuert: 1. Grundwasserfassungen (Bützberg, Langenthal, Aarwangen, Industrien). 2. Völliges Auffassen der Wässerung im nähere Einzugsgebiet des Weihers. 3. Überbauungen und Kanalisationen im zugehörigen Sickergebiet. 4. Meliorationen und Drainagen. 5. Ausgedehnte Kriegsrodung des Unterhardwaldes (70 Jucharten).

In Fig. 113 versuchten wir, den mengenmässigen Rückgang der Grundwasseraufstösse von Madiswil (Fassung der Gemeinde Langenthal) im Spiegel der mittleren jährlichen Wassertemperaturen darzustellen. Die Streuung ist sehr gross – besonders um 10 °C, die bei allen Ergussmengen vorkommen – doch ist ein Band umgekehrter Proportionalität vorhanden: So liegen die Wassertemperaturen für eine Wassermenge von bei 3500 Minutenlitern zwischen 8 und 10 °C, für eine solche bei 2000 l/m zwischen 10 und 12 °C.

Absenkungsbeispiele für verschiedene Grundwasservorkommnisse liegen in Fig. 108–110 vor, wobei wir schliessen, dass vergleichsweise für Hard/Langenthal «bloss» ein mittlerer Rückgang zu verzeichnen ist.

Was nun die hydrogeographische Karte, Beilage 9.2., betrifft, so ist sie als erster Versuch zu werten: sie hat sowohl Bestandesaufnahme wie Wandel von Kulturlandschaft und Gewässern eines anthropogen stark durchwirkten Gebietes kartographisch festzuhalten und anschaulich zu machen. Vorerst sind eingetragen, sozusagen als Grundlage, die die Gewässerveränderungen im wesentlichen verursachenden menschlichen Eingriffe von Rodung, Melioration und Überbauung. Angaben über die Grundwasserveränderungen wurden nur die nötigsten gemacht, quasi um die letzte und wohl gewichtigste Folge in der Entwicklungsreihe Kulturlandschaft – Oberflächengewässer – Grundwasser zu beleuchten. Als Fläche, die jene der in Blauton gehaltenen Grundwasserfelder ergänzt, sind mit Gelbton die allgemein 30–50 m über die Schotterebenen sich erhebenden Molassehügel angetönt, wovon einige typische Höhenkurven zur Verdeutlichung eingezeichnet sind.

Hauptgegenstand der Kartierung bilden die Oberflächengewässer, wobei die heute bestehenden blau, die ehemaligen rot verzeichnet sind. Anschaulich hebt sich ab, dass abgegangene Gewässer in der untersuchten Region, was Ausmass und hydrologische Bedeutung betrifft, nicht etwa als quantität négligeable einzustufen sind. (Im übrigen gilt Rot auch für andere Erscheinungen, die in irgend einer Form zum Wasserrückgang beitragen können.)

Deutlich wird, dass unter den Veränderungen sowohl linien- wie flächenmässig jene des Langete-Wässersystems das Bild bestimmen. Der flächenmässige Rückgang beträgt nach Kapitel 7.5.3. über 70% (1910/1973). In den Wässermattengebieten kommt es gelegentlich zur Durchdringung von blauen und roten Angaben, was aber nur die (die Kartierung erschwerende) Situation der eben in Abgang begriffenen Wasserareale erhellt.

Für die Kartierung der Wässermatten gilt sinngemäss, was zu den Fig. 103–107 ausgeführt wurde. Gewisse Kompromisse liessen sich hier nicht umgehen, da oft die Beurteilung, ob ein Grundstück noch als Wässermatte verzeichnet werden darf, nicht leicht fällt. Nach landwirtschaftlicher Definition sind Wässermatten bewusst und systematisch irrigierte Wiesengrundstücke. Wir hielten uns jedoch zumeist an eine hydrologische Definition, wonach als Wässermatten auch all jene halb- oder voll abgegangenen Wassergebiete bezeichnet werden, auf denen über eine gewisse Zeit hin noch Wasserzufuhr und Versickerung ins Grundwasser erfolgt. Hochwasser-Überflutungen wären demnach hier ausgenommen, nicht aber all die möglichen unsystematischen Überschwemmungen, die aus noch bestehenden Wässergräben oder von andern Grundstücken her zeitweise, und mehr oder minder zufällig, erfolgen.

Es war unmöglich, in der Karte eine einheitliche Phasierung vorzunehmen, so dass sich für die wesentlichsten Elemente (kulturlandschaftliche und hydrologische Aussagen) etwas verschobene Zeiträume und Grenzen der Entwicklung als einzig gangbarer Weg ergaben. So ist die Siedlungsentwicklung recht weit rückwärts und gut zu belegen, diejenige der Landwirtschaft jedoch nicht. Ein übersichtswaises, qualitatives Bild lassen die kleinmasstäblichen Darstellungen von SCHOEPF 1578, RIEDIGER 1724 und BRENNER 1760 zu.

Unsre erste Hauptphase kann mit den Detailangaben der verschiedenen um 1800 entstandenen Pläne und Karten angesetzt werden, wo wir über allgemein-landschaftliche, siedlungsmässige und auch die Verhältnisse des Bewässerungssystems gut benachrichtigt sind. Einen weitem Stand vermittelt der Siegfried-Atlas für die Zeit um 1870. Sodann wurden für einige Details der Karte einzelne Jahresstände vermerkt, so mit 1939 der der Vorkriegszeit. Als «heutiger Stand» gilt im allgemeinen das Jahr 1970.

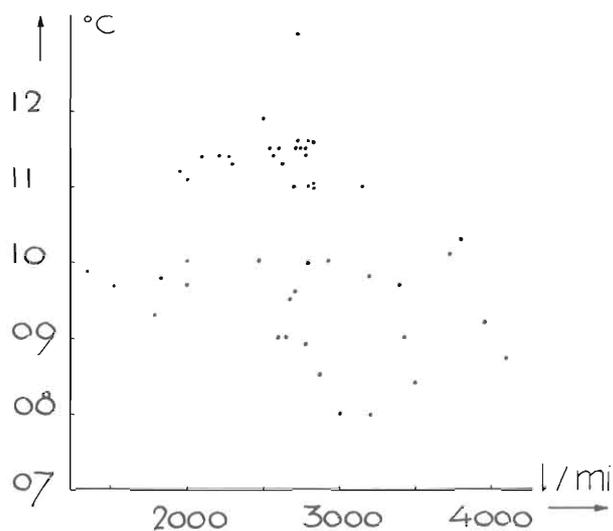


Fig. 113 Grundwasserfassung der Gemeinde Langenthal in Madiswil. Beziehung zwischen den Jahresmitteln von Wassertemperatur und Quellertrag in l/min der rückgängigen Grundwasserquellen in den Jahren 1918–1968. Trotz der grossen Streuung ist erkennbar, dass der Grundwasserrückgang eine Erhöhung der Wassertemperaturen bewirkt.

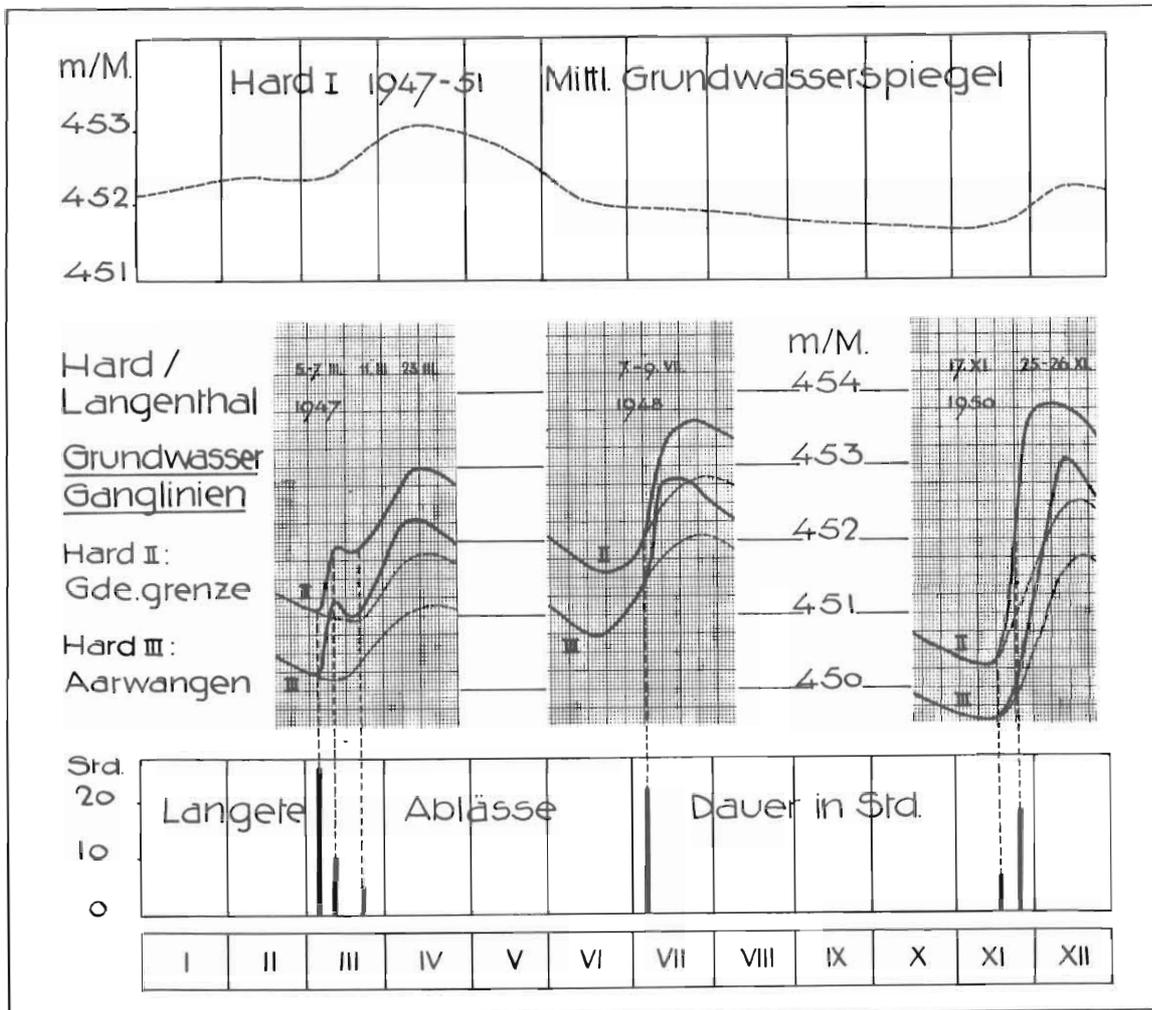


Fig. 114 Einfluss der zur Versickerung in den Hardwald nördlich Langenthals abgeleiteten Langete-Hochwasser auf den Spiegelstand des Grundwassers. In der Beobachtungsperiode 1947–1951 wurde das Hochwasser in den sechs dargestellten Fällen abgeleitet. Unter den Grundwasser-Ganglinien sind eingetragen die mutmasslichen Linien ohne Hochwassereinfluss. Unten: Dauer der Notablässe des Überwassers in den Hardwald in Stunden; diese ist ungefähr proportional der Abflussmenge (ca. $10 \text{ m}^3/\text{s}$)

7.7. Gewässerschutz und Landschaftsplanung: Grundideen und Sanierungsvorschläge

Unsere Anliegen gelten einer möglichst harmonischen, gesunden Kulturlandschaft und insbesondere ihren Gewässern. Sorge und Vorkehrungen in diesem Sektor sind *nicht neu*; im Davoser Landbuch von 1646 beispielsweise steht der lapidare Satz: «Soll auch das Wasser wiederum von denen, die es verunreinigt, gerumt und gereinigt werden.» Heute aber haben sich Gefahren, Sorge und Sanierungsaufwand zu einem der grossen Problemkreise unserer Generation gesteigert.

Die nachstehenden Gedanken und Vorschläge betreffen Verhältnisse, wie sie üblicherweise in stark besiedelten Landschaften anzutreffen sind. Sie sind also exemplarisch gedacht, doch können sie trotzdem nur bedingt verallgemeinert werden. Nach jahrelangen Untersuchungen des Gebiets und seiner Gewässer, nach Erhebung 20jähriger Beobachtungs- und Messreihen, glauben wir einerseits, berechtigt zu sein zu Urteil und Vorschlag, andererseits aber auch, die Pflicht hiezu zu haben. Wissen bedeutet nicht nur Macht, sondern auch Verantwortung. Aus diesem Blickwinkel sind die folgenden Sanierungsgedanken zu sehen, die durch die hydrologischen Erkenntnisse des Vorangehenden begründet sind und gewissermassen ihre zwangsläufige praktische Anwendungsfolge darstellen.

Was den *qualitativen Gewässerschutz* betrifft, sind im Langetegebiet erste wichtige und dringende Schritte unternommen worden: Verschiedene Kläranlagen sind in Funktion (Langenthal, Lotzwil), andere in Bau- oder Planungsphase (Huttwil, Roggwil, Lindenholz). Wird das Programm planmässig fortgeführt, was nicht in Frage steht – wesentlich sind die biologischen und chemischen ARA-Stufen – so darf mit aller Voraussicht für die Wasserqualität der Langete eine positive Prognose gestellt werden. Dies gilt insbesondere, wenn künftig vermehrt die bestehenden gesetzlichen Grundlagen gegen Wasserverschmutzer in voller nötiger Breite zur Anwendung gelangen.

Die Verschmutzung der Oberflächengewässer steht aber nicht als separates Problem. Wir konnten im Vorangehenden nachweisen, welche enge Beziehungen gerade bei uns stellen- und zeitweise zwischen *Oberflächen- und Grundwasser* herrschen. Reinhaltung der Oberflächengewässer fällt uns zudem leichter, als Einfluss auf die Wasser im Boden zu nehmen; sie ermöglicht also in günstiger Weise die Erfüllung zweier Aufgaben.

Heute richtet sich die Sanierung indessen nicht mehr nur oder vorab auf den qualitativen, sondern zumindest ebenso sehr auf den *quantitativen Gewässerschutz*, wozu unsere Studien vornehmlich Grundlagen liefern. Wasserangebots-Fragen sind jüngsterzeit von Trinkwasserversorgung wie auch von Hochwasserschutz her in vorderster Dringlichkeitsstufe gestellt worden, da eine Reihe ungewöhnlicher Wassergrössen Behörden wie Bevölkerung zu beschleunigterem Handeln aufrief. Zu betonen ist jedoch, dass an sich nichts verpasst wurde und alle bestehenden älteren Projekte als überholt zu betrachten sind.

Ein zeitgemässes *Flusskorrektions-Projekt* wird grundsätzlich neu konzipiert sein müssen. Einmal ist zu warnen vor einseitigen Eingriffen in Flusslauf und Bettverhältnisse, die auf massive Verbauung, Kanalisierung, Betonierung und Begradigung hinauslaufen. Gegenteils möchten wir einer *polyvalenten Lösung* das Wort reden, die im Rahmen des Gesamtwasserhaushalts alle Möglichkeiten in Betracht zieht, so auch jene von Rückhalte-Versickerungsbecken (gekoppelt mit Wassermattenarealen).

Grundsätzlich ist die heutige *Lauflinie des Flusses* zu belassen. Sie bietet auch weiterhin geeignete hydrologische Verhältnisse bezüglich des Grundwasseraustausches, und das Bettprofil genügt im allgemeinen bis zu mittleren Hochwassern um $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Jedenfalls dürfen nicht unter dem Eindruck von Einzel- und Ausnahmefällen, wie sie die Wassergrössen darstellen, (durchschnittlich pro Jahr ein Fall, grössere Überschwemmungen einmal pro Jahrzehnt) für den übrigen ungleich grösseren Zeitanteil ungünstigere Bedingungen geschaffen werden, was die hydrologischen wie landschaftlichen Folgen betrifft.

Eine Detailfrage betrifft die zahlreichen *Mäander* der Langete, die aus der Sicht der Grundwasseranreicherung (Anrisse des Prallufers) wie aus jener des Landschaftsbildes besonderer Sorgfalt bedürfen. Ihre begradigende Schneidung ist deshalb abzulehnen.

Angetönt wurde bereits die Hochwasserbekämpfung mittels *Auffangbecken* im Mittellauf der Langete. Diese scheinen uns innerhalb der Integralsanierung einen wesentlichen Sektor darzustellen. In der Diskussion um die Frage der *Versickerung des Spitzenwassers* haben wir uns wiederholt dahin geäußert, dass diese Wassermassen auf das Grundwasser kaum qualitätsschädigende Wirkungen hätten: Einmal wird der Aschutz einer Hochwasserwelle, der die stärkste Verschmutzung als «Aufräumer» erfährt, noch im normalen Flussbett selbst abgeführt, zum andern ist zur Zeit der Spitze die Verdünnung sehr hoch. Braungelbe, völlig getrübe Hochwasserfluten führen zu psychologischer Täuschung! Die Trübung ist eine solche durch mineralische Schwebstoffe und deshalb weitgehend ungefährlich. Probleme der Kolmatierung sind bei entsprechender Bewirtschaftung nicht zu erwarten, wie die Erfahrungen in den Wasserarealen zeigen. Diese Anbauform müsste in den Rückhaltebecken möglichst systematisch fortgeführt werden.

Das eben ausgeführte gilt entsprechend für das *Versickerungsgebiet des Hardwaldes* nördlich von Langenthal. Deshalb müssen wir den Ausbau und die Renovation dieses bestehenden Systems für vorläufig ebenfalls befürworten, um so mehr als sich diese unter erträglichem Kostenaufwand relativ rasch bewerkstelligen lassen. Wie Fig. 114 erhellt, erfolgt eine bedeutende Anreicherung des Grundwasservorkommens.

Im Gebiet des geringmächtigen Grundwasserstromes des Langetentals wie im weiten Überbauungsgebiet Hard/Langenthal (auf dem Schotterfeld des bedeutendsten Grundwasservorkommnisses der Gegend) muss künftig darauf geachtet werden, dass die *Meteorwasser der Siedelungszonen* (Dachwasser und je nach Fall Platzwasser) an Ort und Stelle zur Versickerung gebracht und dem Grundwasser zugeführt werden (Trennsysteme).

Was *neue Grundwasserfassungen* betrifft, ist einerseits das Konzept von Regionalversorgungen hochzuhalten, andererseits gilt es, sowohl aus wasserwirtschaftlichen wie strategischen Erwägungen heraus, zu vermehrter Dezentralisierung und Diversifizierung zu gelangen. Potentielle Entnahmezonen sind vorsorglich freizuhalten, als erstes die Hardregion samt dem Brunnmattgebiet und die noch gewässerten Areale ganz allgemein.

Teils im Gang, teils in vorgerückter Prüfungsphase befinden sich Forschungsprojekte zur präzisen quantitativen wie qualitativen Abklärung von Fragen über zu schaffende Grundwasserfassungen, die mit speziell dafür ausgeschiedenen *Wässermatten* gekoppelt sein sollen. Wir halten derartige *halbnatürliche Anreicherungsanlagen* als vielversprechend, gerade auch im Blick darauf, dass die Wässerwasser in naher Zukunft gutteils geklärt sein werden.

Auf der Basis des *Gesamtwasserhaushaltes* und insbesondere was Grundwasserschutz und Trinkwassergewährleistung betrifft, sind folgende Massnahmen als dringlich zu empfehlen:

1. Alle noch bestehenden Bewässerungsareale des Langetegebiets sind grundsätzlich in ihrer bisherigen Bewirtschaftungsform zu erhalten und zu pflegen, zwecks allgemeiner Grundwasseranreicherung.
2. Vordringlich gilt es, die in der Nähe von bestehenden oder potentiellen Fassungszonen befindlichen noch aktiven Wässermatten in oberster Schutzstufe einzuordnen.
3. Die Wässerbewirtschaftung ist in Richtung grösserer Systematik und erhöhter Sickerintensität zu studieren und auszubauen.
4. Im Sinne hydrologischer Diversifizierung sind in verschiedenen derartigen Räumen mittelgrosse Grundwasserfassungen vorzusehen.
5. Für bestimmte abgegangene Wässermattengebiete, besonders in der Nähe bestehender Fassungen, sind Möglichkeiten und Wirkungsgrad der Reaktivierung zu studieren (Wiederanlage ehemaliger Wässermatten).

Was die *Landschaftsschutz-Massnahmen* bezüglich von Wässermatten betrifft, so ist zu betonen: Die Flusslandschaft der Langete im Sohiental unterhalb Huttwils stellt eine der schönsten und ältesten Kulturlandschaften der Schweiz dar. Flusslauf, Wässermatten, Bäume, Hecken, Dämme und Gräben bilden eine Einheit: Ein natürlich gewundener und bewachsener Flusslauf vereint sich mit einer histori-

schen Grasbaulandschaft, die samt ihrem Wässerungssystem seit dem Mittelalter, seit rund 1000 Jahren, in derart naturnahen Verhältnissen besteht. Der Fall solcher Überlieferung eines historischen bäuerlichen Kulturlandschaftstyps, einer mittelalterlichen Irrigationslandschaft, dürfte bei uns in diesem Umfang und Erhaltungszustande einzig dastehen.

Noch heute sind es gerade Bäume, Gesträuch und vor allem die noch recht zahlreichen Buschhecken, die den Wässergraben folgen, also die Gehölze, die der Flusslandschaft vornehmlich Eigenart und Schönheit verleihen. Zudem bilden sie zum einen den natürlichen Uferverbau, zum andern ein Refugium für Vögel und weitere Tiere. Der besondere Charakter unsrer *Parklandschaft* entlang der Langete wird oft als aussergewöhnlich bewundert, als ein Landstrich von seltener, ursprünglicher Harmonie, vergleichbar einer Parklandschaft des Green England. Von Landschaftsplanung und Naturschutz aus ist dieses Gebiet prädestiniert als *Naherholungsraum* unsrer Industriezone.

Betrachten wir innerhalb des Konzepts vom Gesamtwasserhaushalt die Wässermatten als zentrales Element, so haben wir an ihnen aufgezeigt, in welcher vielseitigen und begünstigenden Weise den Anliegen von Hochwasser- wie Grundwasserschutz (Trinkwasserversorgung), von Landschaftsschutz wie jener der Erholungsgebiete Rechnung getragen werden kann.

So laufen denn all unsere Überlegungen und Vorschläge schliesslich zu dem Ziel, Landschafts- und Wasserhaushalt in naturgemässer, harmonischer Form zu erhalten oder, wenn nötig, wieder derart zu gestalten.

8. Quellen und Literatur

- Aeberhardt F. (1927):* Das neue Pumpwerk im Dennli in Langenthal. Monatsbull. Schw. Ver. Gas- u. Was.fachm. 7
- Amt für Wasserwirtschaft, Eidg. (p. a.):* Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz. Bern
- Amt für Wasserwirtschaft, Eidg. (1920):* Wasserverhältnisse der Schweiz. Aaregebiet v. d. Quellen d. Orbe bis Rhein. I, Die Flächeninhalte. Bern
- Amt für Wasserwirtschaft, Eidg. (1923, 1926, 1939):* Deltaaufnahmen. Mitt. Nr. 15, 21, 34. Bern
- Amt für Wasserwirtschaft, Eidg. (1939):* Untersuchungen in der Natur über Bettbildung, Geschiebe- und Schwebstoffführung. Bern
- Amt für Wasserwirtschaft, Eidg. (1967):* Anleitung für die Feldarbeiten bei der Wassermessung mit hydrometrischen Flügeln. Bern
- Amt für Wasserwirtschaft, Eidg. (1968):* Natürliche und durch Ableitungen beeinflusste Wasserführung der schweizerischen Gewässer. Mitt. Nr. 45. Bern
- Amt für Wasserwirtschaft, Eidg. (1968):* Über die Beziehung zwischen Abfluss und Schwebstoffführung und über eine angenäherte Berechnung von Schwebstofffrachten. Bern
- Atlas der Schweiz (1965ff.):* darin insbesondere die hydrologischen und hydrogeologischen Karten. Herausg.: Eidg. Landestop. Bern
- Bandle O. (1953):* Die Naturlandschaft im Lichte der Flur- und Ortsnamen. Mitt. Thurg. Natf. Ges. XXXVII
- Barsch D. (1969):* Studien zur Geomorphogenese des zentralen Berner Juras. Basl. Beitr. z. Geogr. 9.
- Bauer F. (1965):* Der Geschiebehaushalt der bayerischen Donau im Wandel wasserbaulicher Massnahmen. Wasserwirtschaft LV, 4/5. Stuttgart
- Bauer F. (1968):* Der Einfluss der Feststoffführung alpiner Gewässer auf die Stauraumverlandung und Flussbetteintiefung. Wasserwirtschaft 4. Stuttgart
- Bayrische Landesstelle für Gewässerkunde (1950):* Beiträge zur Gewässerkunde. Festschrift. München
- Bieri W. (1949):* Die Wässermatten von Langenthal. Mitt. Natf. Ges. Bern
- Binggeli V. (1959):* Hydrologisch-morphologische Eindrücke aus Anatolien. Geogr. Helv., 2. Bern
- Binggeli V. (1960):* Karsthydrologische Wasserhärte-Studien im Lukmaniergebiet. Verh. SNG Zürich
- Binggeli V. (1961):* Zur Morphologie und Hydrologie der Valle del Lucomagno (Ticino). Beitr. z. Geol. d. Schw. – Hydrol. 12. Bern
- Binggeli V. (1962):* Über Begriff und Begrenzung der Landschaft Oberaargau. Jahrb. Oberaarg. V. Langenthal
- Binggeli V. (1964a):* Beiträge der Toponomastik zur Landschaftsgeschichte. Geogr. Helv. 1. Bern
- Binggeli V. (1964b):* Über ein neues hydrologisches Forschungsgebiet im Mittelland. Verh. SNG. Zürich
- Binggeli V. (1967):* Die Brunnhöhle von Obersteckholz. Jahrb. Oberaarg. X, Langenthal
- Binggeli V. (1968):* Niederschlag und Abfluss im Langetegebiet im nassen Jahre 1965. Jahrb. Oberaarg. XI. Langenthal
- Binggeli V. (1970a):* Gewässer- und Landschaftswandel im Oberaargau. Geogr. Helv., 1. Bern
- Binggeli V. (1970b):* Niederschlagskarte und hydrologische Bilanz des Lukmaniertals 1953/54–1967/68. Mitt. Natf. Ges. Bern
- Binggeli V. (1970c):* Die Hochwasser der Langete 1950–68. H'bl. Langenthal V
- Binggeli V. (1971a):* Hydrologischer Bericht zum Flusskorrektionsprojekt 1971 der Langete. Ms. Bern/Langenthal
- Binggeli V. (1971b):* Die Wassergenossenschaft Obersteckholz. Zur Geschichte und Hydrologie einer privaten ländlichen Gruppenwasserversorgung. Jahrb. Oberaarg. XIV. Langenthal
- Binggeli V. und Leibundgut Ch. (1973):* Hydrologischer Bericht über die Grundwasserfassung Madiswil der Gde. Langenthal. Möglichkeiten von Schutz, Erhalt und Ertragssteigerung, insbesondere mittels Grundwasseranreicherung in Wässermatten. Ms. IB. Langenthal
- Binggeli V. und Leibundgut Ch. (1974a):* Flusskorrektur, Grundwasserschutz und Grundwasseranreicherung in Wässermatten. Schweiz. Bauzeitung
- Binggeli V., Leibundgut Ch. und Jenny J. (1974b):* Das Grundwasser-Quellgebiet der Brunnmatten von Roggwil. Jahrb. Oberaarg. XVII. Langenthal
- Binggeli V. (1974c):* Bilanci idrologici delle Alpi, in particolare del lato diretto verso sud delle Alpi ticinesi. Verh. SNG Lugano
- Bitterli S. (1957):* Die Wasserkraftnutzung an der Aare zwischen Bielersee und Rhein. Wasser- und Energiewirtsch. 7–9. Zürich
- Brockmann-Jerosch H. (1925):* Die Niederschlagsverhältnisse der Schweiz. Zürich
- Budmiger G. (1967):* Die Quellstollen in der mittelländischen Molasse. Jahrb. Oberaarg. X. Langenthal
- Burger A. (1959):* Hydrogéologie du bassin de l'Areuse. Bull. Loc. Neuchâteloise de G. 52
- Burger H. (1934, 1943, 1954):* Der Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer – Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben. 1915/16–1926/27 (1934); 1927/28–1941/42 (1943); 1942/43–1951/52 (1954). Mitt. Schw. Anst. f. forstl. Vers.wes. Zürich
- Burger H. (1945):* Der Wasserhaushalt im Valle Melera. Mitt. Schw. Anst. f. forstl. Vers.wes. XXIV, 1. Zürich
- Burger H., Festschrift für (1959):* Div. Autoren über Wasserhaushalt und Wald. Mitt. Schw. Anst. forstl. Vers.wes. 1. Zürich
- Burz J. (1958):* Abgrenzung der Schwebstoff- und Sohlenfracht. Wasserwirtsch. Stuttgart
- Burz J. (1964):* Beitrag zur Klassifikation der Feststoffe. Dt. Gewässerkdl. Mitt. VIII, 2
- Bütikofer H. (1970):* Probleme voralpiner Wasserversorgungen am Beispiel Herisau. Gas. Wasser, Abwasser 7
- Cadisch J. (1964):* Geologischer Bericht über die Grundwasserfassung der Gemeinde Thunstetten-Bützberg vom 18. 3. 1964 Ms.

- Chorley R. J. (1969a):* Geographical Hydrology. London/New York
- Chorley R. J. (1969b):* Physical Hydrology. London/New York
- Collet L. W. (1916):* Le charriage des alluvions dans certains cours d'eau de la Suisse. Ann. Schw. Landeshydrogr. Bern
- Colombi C. u. a., CSD (1973):* Trinkwasserversorgung und Hochwasserschutz im Langetetal. Ber. an Reg.pl.verb. Oberaarg. Bern
- Corbel J. (1959a):* Vitesse de l'érosion. Geom. III. Göttingen/Berlin
- Corbel J. (1959b):* Erosion en terrain calcaire. Ann. Géogr. 366. Paris
- Corbel J. (1964):* Erosion terrestre. Ann. Géogr. 398. Paris
- Courvoisier H. W. und Guenin R. (1969):* Die ergiebigen Niederschläge und das Hochwasser vom September 1968 auf der Alpen-nordseite der Schweiz. Wasser- u. En.wirtsch. 7/8. Zürich
- Dettwiler R. (1967):* Valutazione dei problemi della falda freatica di Tenero-Gordola. Diss. Bern
- Deutscher Landesbericht der Sektion Hydrologie* für die Jahre 1963–67. Bayr. Akad. d. Wiss. München 1967
- Dietrich G. (1964):* Ozeanographie. Braunschweig
- Dietrich G. und Kalle K. (1965):* Allgemeine Meereskunde. Berlin
- Dušan D. (1972):* Les régimes fluviaux en Yougoslavie. 2. Rep. IGU/IHD. Freib. Geogr. H. 12. Freiburg i. B.
- Dynowska I. (1972):* Types of river regimes in Poland. 2. Rep. IGU/IHD. Freib. Geogr. H. 12. Freiburg i. B.
- Einstein H. A. (1964):* River Sedimentation. In Chow, Handbook of Hydrology. New York
- Einstein H. A. und Shen H. W. (1964):* A Study on Meandering in Straight Alluvial Channels. J. Am. Geophys. Un., V, 69
- Erni A. (1919):* Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer (Sperbel- u. Rappengraben). Mitt. Schw. Anst. f. forstl. Vers.wes. XII. Zürich
- Erni A. und Kelterborn P. (1948):* Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz. II. Teil 6. Wangen a.d.A. – Aarburg. Beitr. Schw. Geot. Ser. 26,2. Bern
- Fischer K. (1936):* Ziele und Wege der Untersuchungen über den Wasserhaushalt. Mitt. dt. Wasserwirtsch. 40. Berlin
- Fischer-Reinart L. (1917):* Flusskunde der Thur und Glatt. Diss. Bern
- Friedrich W. (1948):* Über den Abfluss bei Hochwasser. Gött. Geogr. Abh. 1
- Friedrich W. u. a. (1968):* Forstlich-hydrologische Untersuchungen im Oberharz. Mitt. Nied.sächs. Landesforstverw. 7, Hannover
- Geiger R. (1961):* Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig
- Geol. Kommission, Schweiz. (1942):* Geologische Generalkarte der Schweiz 1:200000. Bl. II, Basel/Bern
- Ghezzi C. (1926):* Die Abflussverhältnisse des Rheins in Basel. Mitt. Eidg. Amt f. Was.wirtsch. 19. Bern
- Gonzenbach W. v. (1922):* Gutachten über das Grundwasser aus dem Talboden von Bleienbach für die Wasserversorgung Langenthal. Ms. IB der Gde. Langenthal, v. 5. April 1922, Zürich
- Graf W. H. (1971):* Hydraulics of Sediment Transport. New York
- Graul H. (1962):* Geomorphologische Studien zum Jungquartär des nördlichen Alpenvorlandes I. Das Schw. Mittelland. Heidelb. Geogr. Arb. 9
- Grosjean G. (1969):* Planungsgrundlagen für die Region Burgdorf. (Geogr. Institut) Burgdorf/Bern
- Grütter E. (1967):* Beiträge zur Morphologie und Hydrologie des Val Verzasca. Diss. Bern
- Guenin R. (1969):* siehe Courvoisier
- Guilcher A. (1965):* Précis d'Hydrologie Marine et Continentale. Paris
- Gutersohn H. (1936):* Ablation und Abfluss. Viert.j.schr. Natf. Ges. Zürich LXXXI
- Gutersohn H. (1958–1970):* Geographie der Schweiz. 5 Bde. Bern
- Gygax F. (1946a):* Topographische und hydrographische Grenzen im Gebiete des Lucomagno. Verh. SNG Aarau
- Gygax F. (1946b):* Über die Grösse der Verdunstung im Südtessin. Verh. SNG Aarau
- Gygax F. und Hügi Th. (1946):* Geologische Untersuchung für die Wasserversorgung Langenthal. Verv. Gde. Langenthal v. 28. 1. 1946
- Gygax F. (o. J.):* Die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss in den östlichen USA. Ms.
- Gygax F. (1948):* Niederschlag und Abfluss im Einzugsgebiet der Magliasina. Beitr. z. Geol. d. Schw. – Hydrol. 4. Bern
- Gygax F. und Ghezzi C. (1953):* Die hydrologischen Verhältnisse am Alpensüdhang. Wasser- u. En.wirtsch. Sond.hft. Ticino, XLV, 4–6. Zürich
- Gygax F. und Schwab W. (1969):* Neue Wege in der Markierung von Grundwasser. Geogr. Helv. 3. Bern
- Häuser J. (1933):* Die Wassertemperaturen der Isar in München-Bogenhausen. Wasserkraft u. Wasserwirtsch. 5/6
- Hinrich H. (1971):* Schwebstoffgehalt und -fracht der Haupt- und einiger Nebenflüsse in der BRD. Dtsch. Gew.kdl. Mitt.
- Hirsbrunner G. (1959):* Morphologie und Hydrologie der Rovinatäler. Diss. Bern
- Hoeck H. und Thams C. (1951):* Zum Problem der Niederschlagsmessung. Geofisica XIX, 3–4. Milano
- Hug J. (1918):* Die Grundwasservorkommnisse der Schweiz. Ann. Schw. Landeshydrogr. III. Bern
- Hug J. und Mohler H. und Ryser H. C. (1945):* Expertenbericht betr. die Trinkwasserversorgung der Gde. Langenthal. März 1945
- Hug J. (1950):* Geologisch-hydrologischer Bericht betr. Sicherung des Wassers der neuen Grundwasserfassung «Hard» gegen die Wirkung zu weitgehender Kiesausbeutung. Zürich
- Hug. J. (1956):* Geol.-hydrolog. Bericht betr. die Erweiterung der Grundwasserfassung der Gde. Lotzwil v. 18. 9. 1956
- Hügi Th. (1946):* siehe Gygax
- IHD (1968/1972):* Run-off Regimen and Water Balance. 1./2. Ber. IGU/IHD. Freib. Geogr. H. 12. Freiburg i. B.
- IBL, Ind. Betr. d. Gemeinde Langenthal.* Jahresberichte
- International Association of Scientific Hydrology.* Abstracts of Papers, Vol. VI, VIa. Int. Un. of Geodesy and Geophys. XIVth Gen. Ass. Switzerland. Sept. 25th–Oct. 7th 1967
- Jäckli H. (1957):* Gegenwartsgeologie des bündnerischen Rheingebiets. Beitr. Z. Geol. Karte d. Schw. Bern
- Jäckli H. (1958):* Der rezente Abtrag der Alpen im Spiegel der Vorlandsedimentation. Ecl. Geol. Helv. 51, 2. Basel
- Jäckli H. (1967):* Hydrogeologie. In «Atlas der Schweiz». Bern
- Jaggi C. (1970):* Hydrologische Untersuchungen in verschiedenen Tessiner Tälern. Diss. Bern

- Jenny J. (1974): Siehe Binggeli
- Karl J. und Danz W. (1969): Der Einfluss des Menschen auf die Erosion im Bergland. Bayr. Landesstelle f. Gw.-kde. München
- Kasser P. und Walsler E. (1967): Hydrographie. In «Atlas der Schweiz». Bern
- Keller H.M. (1964): Wald und Wasserwirtschaft. Hesperia-Mitt. XIV, 3. Luzern
- Keller H.M. (1965): Hydrologische Beobachtungen im Flyschgebiet beim Schwarzsee (Kt. Freib.). Mitt. Schw. Anst. f. d. forstl. Vers.wes. XLI, 2. Zürich
- Keller H.M. (1967): Water Quality to Characterize Runoff from Small Watersheds. IUFRO-Kongr. XIV, 12. München
- Keller H.M. (1968): Der heutige Stand der Forschung über den Einfluss des Waldes auf den Wasserhaushalt. Schw. Zschr. f. Forstwes. 4/5
- Keller R. (1951): Das Schema des Wasserkreislaufes, berechnet für das Deutsche Bundesgebiet. Geogr. TB 1951/52 Stuttgart
- Keller R. (1961): Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes. Berlin
- Keller R. (1968): Die Regime der Flüsse der Erde. 1. Ber. IGU/IHD. Freib. Geogr. H. 6. Freiburg i.B.
- Keller R. (1971a): Wasserbilanz der Bundesrepublik Deutschland. Umschau 3. Frankfurt a.M.
- Keller R. (1971b): Vorarbeiten zu einem Hydrologischen Atlas der BRD. Zesz. Nank. Uniw. Jag., Prace Geogr. Z. 29. Krakow
- Keller R. (1971c): Der Einfluss des Menschen auf die Wasserbilanz. Zesz. Nank. Uniw. Jag., Prace Geogr. Z. 29. Krakow
- Keller R. (1972): Methoden zur Klassifikation von Abflussregimen. 2. Ber. IGU/IHD. Freib. Geogr. H. 12. Freiburg i.B.
- Kistler E. (1954): Hydrologische Untersuchungen im Gebiet der V. Onsernone. Diss. Bern
- Kormann E. und Beetschen H. (1946): Projekt für die Korrektur der Langete im Gebiet der Gemeinde Langenthal. Ms.
- Kresser W. (1961a): Hydrologische Betrachtung der österreichischen Gewässer. Verh. Int. Ver. Limnol. XIV. Stuttgart
- Kresser W. (1961b): Möglichkeiten und Voraussetzungen einer langfristigen Vorhersage der Abflussmengen eines Gewässers. Hidrol. Előrejelzési Konf. Budapest
- Kresser W. (1964): Les Prévisions à longue échéance des débits d'eau d'après différentes méthodes et comparaison des résultats. Hydr. Zentr.büro i. Bundesamt f. Land- u. Forstw. Wien
- Kresser W. (1965): Zur Hochwasservorhersage bei kleinen Gewässern. Int. Konf. d. hydrolog. Vorhersagen der Donauländer 11–3 Bukarest
- Kresser W. (1968): Das Wasser. Wiener Mitt. Wasser, Abw., Gewässer 1
- Kresser W. (1970): Probleme und Aufgaben der heutigen Hydrographie, Öst. Wasserwirtsch. XXII, 5/6. Wien/New York
- Kresser W. (1973): Die Donau und ihre Hydrologie. Wasser- u. En.wirtsch. 3/4. Zürich
- Kresser W. (1974): Zur Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Hochwasserabflüssen. Österr. Wasserwirtsch. 26, 1/2. Wien
- Landestopographie, Eidg. (1955ff.): Landeskarte der Schweiz. 1:25000 Bl. 1108, 1128/1:50000 Bl. 224, 234. Bern
- Leibundgut Ch. (1970): Die Wässermatten des Oberaargaus. Jahrb. Oberaarg. XIII. Langenthal
- Leibundgut Ch. (1973): siehe Binggeli
- Leibundgut Ch. (1974a): Beiträge zur Hydrologie des Oberaargaus. Diss. Bern
- Leibundgut Ch. (1974b): Siehe Binggeli 1974a
- Leibundgut Ch. (1974c): Siehe Binggeli 1974b
- Louis H. (1968): Allgemeine Geomorphologie. Berlin
- Louis H. u. a. (1971): Landformung durch Flüsse. Z. Geom. Suppl. 12
- Lütschg O. (1935): Rapport sur le but des recherches entreprises dans le bassin de la Baye de Montreux. Mitt. Schw. Anst. f. forstl. Vers.wes. XIX, 5. Zürich
- Lütschg O. (1944): Zur Hydrologie der Landschaft Davos. Beitr. z. Geol. d. Schw. – Hydrol. 4. Zürich
- Lütschg O. (1945a): Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges. I. 1. 1(Niederschlag und Abfluss). Beitr. z. Geol. d. Schw. – Hydrol. 4. Bern
- Lütschg O. (1945b): Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluss im Lichte der geologischen Forschung. Ecl. Geol. Helv. XXXVIII. Basel
- Lütschg O. (1949): Zum Wasserhaush. d. Schw. Hochgeb.: Boden und Vegetation im Wasserhaushalt. Die Bedeutung des Schneetransports durch den Wind. Die Bedeutung der Nebel-, Tau- und Reifbildung. Beitr. z. Geol. d. Schw. – Hydrol. 4. Bern
- Lütschg O. (1950): Zur Hydrologie, Chemie und Geologie der winterlichen Gletscherabflüsse der Schweizer Alpen. Beitr. z. Geol. d. Schw. – Hydrol. 4. Bern
- Mairhofer J. (1973): Einige Beispiele zur Anwendung der Isotopendatierung in der Hydrologie. Gas, Wasser, Abwasser 2
- Meinardus W. (1934): Die Niederschlagsverteilung auf der Erde. Met. Zschr.
- Mercanton P.L. (1953): Recherches de techniques pluviométrique. Ann. MZA. Zürich
- Messerli B. u. a. (1970–74): Beiträge zur klimatologischen Grundlagenforschung. 1–12 (Geogr. Institut) Bern
- Meteorologische Zentralanstalt, Schweiz. (p. a.): Annalen. Zürich
- Meteorologische Zentralanstalt, Schweiz. (p. a.): Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen in der Schweiz. Zürich
- Meteorologische Zentralanstalt, Schweiz. (1965): Der nasse Sommer 1965. Langenthaler Tagbl. 7. 10. 1965
- Meyer J.R. (1946): Bericht über die Überschwemmung vom 15. November 1781. Langenthaler Tagbl. 17. 6. 1946
- Meyer J.R. (1961): Kleine Geschichte Langenthals. Langenthal
- Miller D. (1972): Some Aspects of Regional Hydrology of the United States. 2. Ber. IGU/IHD. Freib. Geogr. H. 12. Freiburg i.B.
- Müller G. und Förstner U. (1968): Sedimenttransport im Mündungsgebiet des Alpenrheins. Geol. Rundsch. 58, 1
- Niggli P., Bader H. u. a. (1939): Der Schnee und seine Metamorphose. Beitr. z. Geol. d. Schw. – Hydrol. 3. Bern
- Niklaus M. (1967): Geomorphologische und limnologische Untersuchungen am Oeschinensee. Diss. Bern
- Niklaus M. (1969): Die Kander und ihr Delta im Thunersee. Jahrb. Thuner-Brienzersee
- Nydegger P. (1967): Untersuchungen über den Feinstofftransport in Flüssen und Seen. Beitr. z. Geol. d. Schw. – Hydrol. 16. Bern
- Oesterhaus M. (1965): Über die Hydrologie im Rahmen der schweizerischen Wasserwirtschaft. Schw. Bauzeitg. 83/42. Zürich
- Otz H. (1969): Geomorphologische, hydrologische und limnologische Untersuchungen im Tremorgio-Gebiet TI. Diss. Bern

- Pardé M. (1920):* Le régime des cours d'eau suisse. *Rév. Géogr. Alp.* VIII
- Pardé M. (1954):* Sur les coefficients et déficits d'écoulement des très grands crues. *Ann. d. l'Inst. Polytechn. Grenoble*, III/3
- Pardé M. (1955):* Fleuves et rivières. Paris
- Penman H. L. (1959):* Notes on the Water Balance of the Sperbelgraben and Rappengraben. *Mitt. Schw. Anst. forstl. Vers.wes.* 1. Zürich
- Peters B. E. (1971):* Untersuchungen über Zusammensetzung und Transport von Schwebstoffen in einigen Schweizer Flüssen. Diss. Bern
- Peters B. E. (1973):* Untersuchungen über Zusammensetzung und Transport von Schwebstoffen in einigen Schweizer Flüssen. *Geogr. Helv.* 3. Zürich
- Reichel E. (1952):* Der Stand des Verdunstungsproblems. *Ber. dt. Wetterdienst i. US-Zone*, Nr. 35
- Reist M. (1960):* Morphologie und Hydrologie des Bavonatales. Diss. Bern
- Richard F. (1955):* Über Fragen des Wasserhaushaltes im Boden. *Schw. Z. Forstw.* 4
- Richard F. (1963):* Wasserhaushalt und Entwässerung von Weideböden. *Mitt. Schw. Anst. forstl. Vers.wes.* 5. Zürich
- Roder E. (1914):* Niederschlag und Abfluss im bündnerischen Rheingebiet. *Mitt. Abt. f. Landeshydrogr.* Bern
- Roth R. (1923):* Über die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss im Reussgebiet. Diss. Basel
- Rutsch R. F. (1962):* Vorl. hydrologischer Bericht über die Grundwasserfassung Madiswil der Gde. Langenthal. IB Langenthal Ms.
- Rutsch R. F. und Geotest Bern (1963/64):* Programm und Berichte über Untersuchungen zur Erschliessung von Grundwasser in Lotzwil. Ms. Bern
- Schaad E. (1926):* Quellenstudien. *Mon.bull. Gas- u. Was.fachm.* Basel
- Schaffernak F. (1960):* Hydrographie. Graz
- Schlunegger H. (1960):* Egg und Graben, die Landschaft des Unteremmentals. *Jahrb. Oberaarg.* III. Langenthal
- Schmassmann W. u. H. (1949):* Über die Abhängigkeit der Quellergüsse vom Niederschlag. *Verh. Int. Ver. theor.+angew. Limn.* X. Stuttgart
- Schmassmann W. und H. (1957):* Bericht über Grundwassererschliessung für das Werk Brunnmatt, Gugelmann & Cie. AG. Ms. Liestal-Langenthal
- Schmassmann H. (1970):* Hydrologie und Wasserversorgung der Nordwestschweiz. *Pro Aqua* 4
- Schmassmann H. (1972):* Künstliche Grundwasseranreicherung. *Gas, Wasser, Abwasser* 5. Zürich
- Schnitter G., Sonderheft für (1970):* Div. Autoren über Wasserbau und Erdbau. *Wasser- u. En.wirtsch.* 10. Zürich
- Schüepf M. (1950):* Wolken, Wind und Wetter. Zürich
- Schüepf M. (1962):* Klimatologie der Schweiz: Sonnenscheindauer. MZA Zürich
- Schüepf M. (1960–69):* Klimatologie der Schweiz: Lufttemperatur. MZA Zürich
- Schüepf M. (1963):* Klimatologie der Schweiz: Bewölkung und Nebel. MZA Zürich
- Schwab W. (1969):* Statistische Untersuchungen über die Grundwasserspiegelschwankungen in der Val d'Agno. Diss. Bern
- Schweizer H. U. (1970):* Beiträge zur Hydrologie der Ajoie. *Beitr. Geol. d. Schw. – Hydrol.* 17. Bern
- Schweizer W. (1937):* Oberflächengestalt und Wasserhaushalt im oberen Glattal. Diss. Zürich
- SVGW (1970):* Wasserversorgungen in der Schweiz. Statistische Erhebungen für das Betriebsjahr 1970. *Schw. Ver. f. Gas- u. Was.fachm.*
- Sevruck B. (1972):* Einfluss des wachsenden Waldes auf die Niederschlagsmessung im Einzugsgebiet der Baye de Montreux. *Wetter u. Leben* XXV
- Sevruck B. (1973):* Erfahrungen mit Totalisatoren mit schiefen, geneigten und bodenebenen Auffangflächen im Einzugsgebiet der Baye de Montreux. – Einfluss der Temperatur auf die Messung des Niederschlags mit Totalisatoren. *Veröff. MZA* 30. Zürich
- Spillmann G. (1935):* Der natürliche Wasserhaushalt im Aaregebiet. *Wasserkraft und Was.wirtschaft.* 3. München u. Berlin
- Steinhäuser H. (1959):* Wasserhaushalt und Landschaft in den südöstlichen Alpen (Österreich). *Mitt. Schw. Anst. forstl. Vers.wes.* 1
- Tollner H. (1952):* Wetter und Klima im Gebiet des Grossglockners. *Mitt. Natw. Ver. Kärnten*, 14, Sonderheft. Klagenfurt
- Tschumi R. (1971):* Solothurn, Hydrologie einer Stadt. Diss. Bern
- Utrecht E. (1906):* Die Ablation der Rhone in ihrem Walliser Einzugsgebiet im Jahre 1904/05. Diss. Bern
- Ule W. (1925):* Physiographie des Süsswassers. Leipzig
- Uttinger H. (1949):* Die Niederschlagsmengen in der Schweiz 1901–40. *Führer durch d. schw. Was.- u. El.wirtsch.* III. Ausg. Zürich
- Uttinger H. (1965/66):* Klimatologie d. Schweiz: Niederschlag. MZA Zürich
- Walser E. (1953):* Das Hochwasser von Ende Juni 1953 in der Zentral- und Nordostschweiz. *Wasser- u. En.wirtsch.* 10. Zürich
- Walser E. (1954):* Die Niederschlags- und Abflussverhältnisse im Einzugsgebiet des Rheins oberhalb Basels. *Wasser- u. En.wirtsch.* 5–7. Zürich
- Walser E. und Lanker E. (1957):* Die Niederschlags- und Abflussverhältnisse im Einzugsgebiet der Aare unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Speicherbecken. *Wasser- u. En.wirtsch.* 7–9. Zürich
- Walser E. (1958):* Niederschlag und Abfluss im Reussgebiet. *Wasser- u. En.wirtsch.* 8/9. Zürich
- Walser E. (1960):* Die Abflussverhältnisse in der Schweiz während der Jahre 1910–59. *Wasser- u. En.wirtsch.* 8–10. Zürich
- Walser E. (1962):* Das Linth-Limmatgebiet in hydrologischer Sicht. *Wasser- u. En.wirtsch.* 8–10. Zürich
- Walser E. (1967):* Niederschlags- und Abflussverhältnisse im Engadin. *Wasser- u. En.wirtsch.* 6/7. Zürich
- Walser E. und Kasser P. (1967):* Hydrographie. In «Atlas der Schweiz». Bern
- Walser E. (1968):* Die Abflussverhältnisse der aargauischen Gewässer. *Wasser- u. En.wirtsch.* 9/10. Zürich
- Walser E. (1970):* Transport gelöster Stoffe in Fliessgewässern. *Verh. SNG* Zürich
- Wasser- und Energiewirtschaft (p. m.):* *Zschr. d. schw. Was.wirtsch.verb.* Zürich
- Walther K. A. u. Dieterich B. H., Herausg. (1964):* Wasser – bedrohtes Lebenselement. Zürich
- Wechmann A. (1964):* Hydrologie. München
- Wendt H. (1965):* Quellen, Ströme, Meere. Das Epos des Wassers. Zürich

- Wilhelm F. (1966):* Hydrologie – Glaziologie. Das geogr. Sem. Braunschwg.
- Witschi R. (1957):* Morphologie und Hydrologie der oberen Blenio-täler. Diss. Bern
- Wundt W. (1953):* Gewässerkunde. Berlin
- Wundt W. (1967):* Der Temperaturgang an mitteleuropäischen Flüssen. Pet. Mitt. 2. Leipzig
- Zimmermann H. W. (1962):* Die Eiszeit im westlichen zentralen Mittelland. Diss. Zürich
- Zimmermann H. W. (1968):* Zur Landschaftsgeschichte des Oberaargaus. Jahrb. Oberaarg. XII. Langenthal
- Zingg Th. (1954):* Niederschlagsmessung im Hochgebirge. Wetter u. Leb. VI
- Zollinger K. (1906):* Das Wasserrecht der Langete. Diss. Bern
- Zurbrugg H. (1973):* Auf dem Wege zu einem neuen Artikel der Bundesverfassung über die Wasserwirtschaft. Wasser- u. En.wirtsch. 1/2. Zürich
- Zwerman P.J. and Free G.R. (1959):* Soil and water conservation research in the United States with particular reference to arable land. Mitt. Schw. Anst. forstl. Vers.wes. 1. Zürich

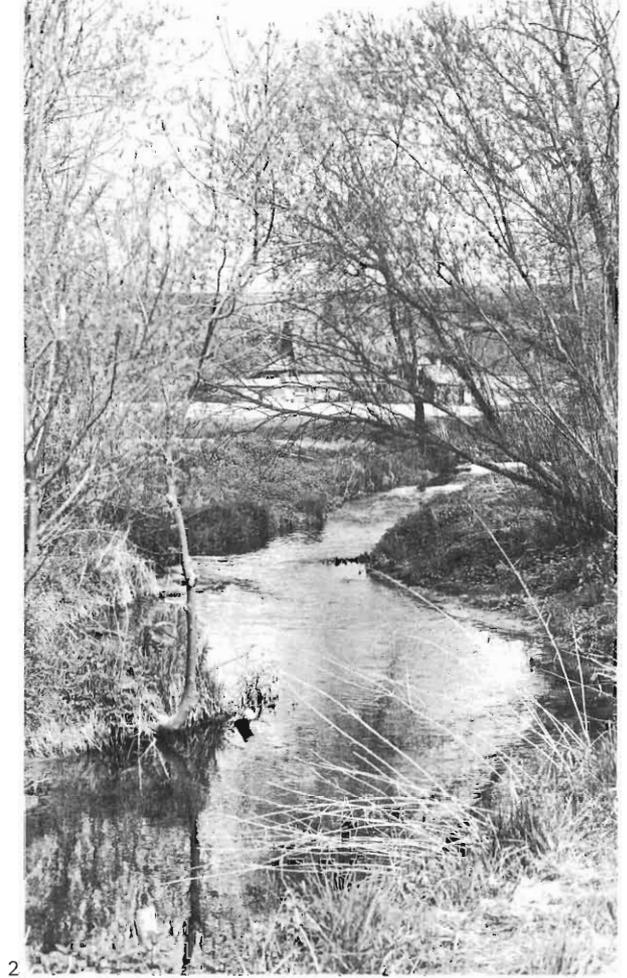


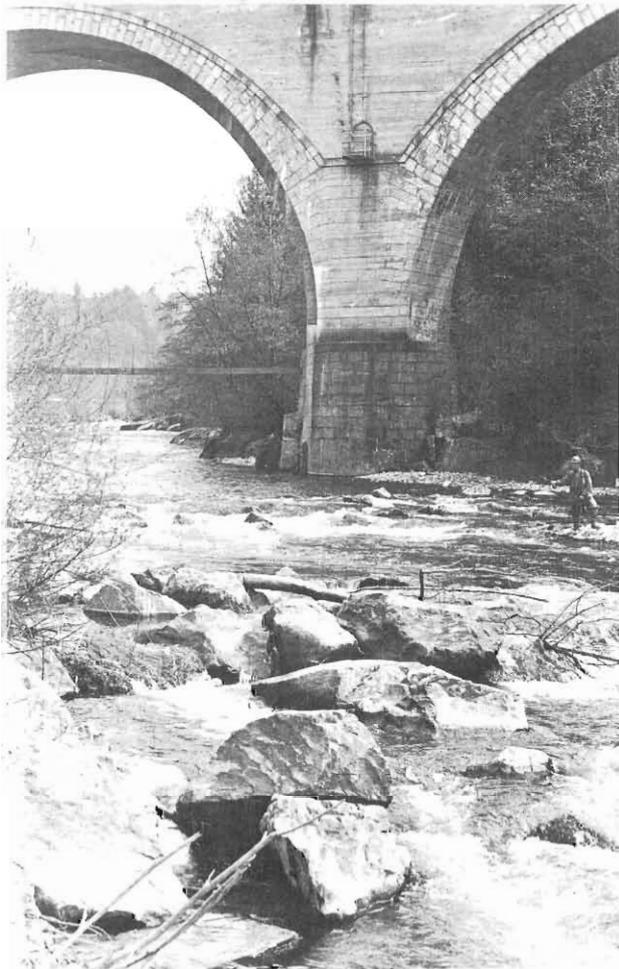
Abb. 1 Sperbelgraben bei Wasen, mit Limnigraphenstation. Testgebiet A+W im Napfbergland (dazu Abb. 26).

Abb. 2 Biberen bei Kerzers. Testgebiet A+W im tiefern Mittelland

Abb. 3 Emme bei Wiler, mit Abfluss-Station. Vergleichsfluss mit vorwiegend vorlandalpinem Einzugsgebiet (860 m). Aufnahmen H. Scheidiger 1974.



3



4 5



Abb. 4 Gürbe bei Belp, Talguet; Testgebiet A+W im höheren Alpenvorland (mittlere Gebietshöhe 837 m; Langete 713 m). Aufn. Verfasser 1974

Abb. 5 Sense bei Thörishaus, Au. Testgebiet A+W. Vorwiegend subalpines Alpenvorlandgebiet. Aufn. H. Scheidiger 1974

Abb. 6 Aare bei Aarwangen. Haupt- und Sammelfluss des schweizerischen Alpenvorlandes. Aufn. M. Gaberell 1972

6

